This is a reproduction of a library book that was digitized by Google as part of an ongoing effort to preserve the information in books and make it universally accessible.

Google™ books

https://books.google.com

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

Class 605. Book R.32.

University of Chicago Library

BERLIN COLLECTION

GIVEN BY

MARTIN A. RYERSON
H. H. KOHLSAAT
CHAS. L. HUTCHINSON
H. A. RUST
A. A. SPRAGUE
BYRON L. SMITH
C. R. CRANE
CYRUS H. MCCORMICK
C. J. SINGER

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

REVUE
SCIENTIFIQUE
ET INDUSTRIELLE.

Digitized by Google

IMPRIMERIE DE BOURGOGNE ET MARTINET, RUE JACOB, 30

Digitized by Google

REVUE
SCIENTIFIQUE
ET INDUSTRIELLE

SOUS LA DIRECTION

Du docteur QUESNEVILLE,

FABRICANT DE PRODUITS CHIMIQUES ET RÉACTIFS,

SUCCESSEUR DE N.-L. VAUQUELIN DE L'INSTITUT.

Tome 5. — Deuxième série.

(VINGT-UNIÈME DE LA COLLECTION.)

A PARIS,

CHEZ LOUIS COLAS,

LIBRAIRE-ÉDITEUR, RUE DAUPHINE, 32;

1845.

Digitized by Google

THE
UNIVERSITY
OF
CHICAGO LIBRARY

QA
R52

Digitized by Google

91003

REVUE

SCIENTIFIQUE ET INDUSTRIELLE.

DES COULEURS EN ELLES-MÊMES ET DANS LES CORPS.

CONSTITUTION DU SOLEIL, NATURE DE SA LUMIÈRE.

Pour jeter sur une question si ardue tout le jour possible, nous commencerons par rappeler en quelques mots ce que la science moderne nous apprend de la construction du soleil et du spectre solaire. Deux grands maîtres vont nous servir de guide, MM. Arago et Brewster.

Dans son incomparable analyse historique et critique de la vie et des travaux de sir William Herschell, le premier de ces physiciens illustres a rassemblé tout ce que la science a balbutié sur la nature du soleil et de la lumière ; écoutons-le.

Alexandre Wilson admit, dès 1774, que le soleil était composé de deux matières de nature très différente; que sa masse était un corps solide non lumineux et noir ; que cette masse énorme était recouverte d'une substance enflammée, fluide jusqu à un certain point, ressemblant par sa consistance à un brouillard épais.

Bode, en 1776, fit du soleil un corps obscur comme notre terre, solide en partie, en partie couvert de liquides, enveloppé d'une atmosphère de vapeurs et d'une atmosphère lumineuse, plus ou moins irrégulières en certains endroits, plus ou moins déprimées en d'autres, ayant leurs vagues, etc.

Michell disait, en 1783, que la clarté excessive et universelle de la surface solaire provient probablement d'une atmosphère lumineuse dans toutes ses parties, et douée aussi d'une certaine transparence; de sorte qu'il résulterait de cette constitution que l'œil reçoit des rayons venant d'une grande profondeur.

Herschell déclara, en 1795, être convaincu que la substance par

Digitized by Google

l'intermédiaire de laquelle le soleil brille, ne saurait être ni un liquide ni un fluide élastique, qu'elle doit être analogue à nos nuages et flotter dans la matière transparente de l'astre. Il place entre le corps solide du soleil et la couche extérieure de nuages phosphoriques une couche atmosphérique plus compacte, beaucoup moins lumineuse, ou qui même ne brille que par réflexion. Il reconnaît que ces deux atmosphères doivent avoir des mouvements tout-à-fait indépendants, et ne paraît pas toutefois s'être prononcé d'une manière définitive sur la question de savoir si elles sont en contact immédiat ou si un intervalle les sépare.

Suivant le grand astronome, un fluide élastique d'une nature inconnue se forme incessamment à la surface du corps obscur du soleil, et s'élève dans les hautes régions de l'atmosphère, à cause de sa faible pesanteur spécifique. Quand ce gaz est peu abondant, il engendre de petites ouvertures dans la couche inférieure des nuages réfléchissants : ce sont les *pores*.

Le gaz, en arrivant dans la région des nuages lumineux, est brûlé et se combine avec d'autres gaz ; la lumière résultant de cette combustion n'est pas également vive partout : de là les *rides*.

Les nuages lumineux ne se touchent pas parfaitement ; les interstices qu'ils laissent entre eux permettent de voir les nuages intérieurs à l'aide de la réflexion qui s'opère à leur surface. Cette réflexion étant comparativement faible, le soleil doit paraître peu lumineux dans les régions où elle a lieu. Le mélange de cette faible lumière réfléchie et de la vive lumière excitée par les parties élevées des rides doit donner au soleil une apparence *pointillée* tant qu'on n'emploie pas un très fort grossissement.

Un courant ascendant de gaz, plus fort que les courants générateurs des simples *pores*, donne naissance aux larges *ouvertures*. Si les nuages lumineux ne cèdent pas de suite à l'impulsion de la force qui tend à les séparer, ils s'accumulent près de l'ouverture, et il en résulte des *facules* ou taches lumineuses, rondes ou allongées.

Les courants ascendants les plus intenses diviseront sur une grande étendue l'enveloppe continue que forment les nuages inférieurs ; ils divergeront en continuant à s'élever entre les deux couches, et opéreront dans l'atmosphère lumineuse une éclaircie plus étendue encore. Dans le voisinage de cette éclaircie, certaines parties du courant ascendant iront fournir un nouvel aliment à la combustion : de tout cela résulteront des *noyaux*, des *pénombres* et des *facules*.

M. Arago termine ainsi ce résumé rapide : « S'il m'était permis

Digitized by Google

de sortir du cadre de cette notice, des phénomènes de polarisation permettraient, en plus d'un point, de substituer des faits positifs, des démonstrations catégoriques aux raisonnements simplement bégayés par Herschell. » Et en effet, l'étude que M. Arago a faite de la lumière solaire au moyen de son polariscope l'a forcé d'admettre que cette lumière provenait, non d'un corps solide incandescent, mais d'une masse gazeuse.

Disons en passant que Bode et Herschell ont cru le soleil habité. Suivant Herschell, si la profondeur de l'atmosphère solaire dans laquelle s'opère la réaction chimique lumineuse s'élève à un millier de lieues, il n'est pas nécessaire qu'en chaque point de la surface du noyau du soleil l'éclat surpasse celui d'une aurore boréale ordinaire. Le noyau solaire peut d'ailleurs n'être pas très chaud malgré l'incandescence de l'atmosphère lumineuse.

Le docteur Elliot, qui peuplait aussi le soleil d'habitants, soutenait, dès 1787, que la lumière du soleil provenait de ce qu'il appelait une aurore dense et universelle.

La portée de ce rapprochement sera mieux comprise après les longs développements dans lesquels nous sommes entré au sujet de l'aurore boréale; on verra comment la lumière et la chaleur solaire peuvent trouver leur source dans des courants électriques.

Parce que les rayons du soleil nous semblent vraiment brûlants dans certaines circonstances, nous nous imaginons que sa tempé rature est ex essivement élevée, qu'elle est bien supérieure à celle des corps incandescents que nous observons sur la terre; et nous avons raison dans le jugement que nous portons : j'ai entendu néanmoins un physicien instruit, mais quelque peu paradoxal, affirmer que cette analogie n'avait aucun fondement. « Il est plus probable même, disait-il, qu'elle est inadmissible. » Lors même que la température du soleil ne serait pas excessivement élevée, le flux continuel auquel sa présence donne naissance suffit à expliquer tous les phénomènes dont nous sommes témoins, pourvu que l'on admette que la quantité de chaleur perdue diffère d'une quantité finie, mais d'ailleurs aussi petite que l'on voudra, de la quantité de chaleur reçue. Un filet d'eau aussi mince qu'on pourra le concevoir finira, si on le suppose vraiment continu, par remplir le plus vaste bassin. Les rayons calorifiques solaires ne produisent des effets énergiques que par leur accumulation. La condensation qu'ils éprouvent dans l'atmosphère suffit à nous échauffer fortement au niveau des mers; mais cette même condensation est inefficace sur les hautes montagnes. Et là même, cependant, l'illustre Saussure a fait bouillir de l'eau en l'exposant aux rayons à peine tièdes du

Digitized by Google

soleil, en s'aidant toutefois d'un artifice extrêmement ingénieux, qui consistait à placer l'eau dans un vase tellement enveloppé que la déperdition de chaleur devenait impossible.

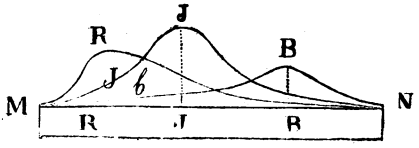
Rien n'empêcherait donc, concluait le physicien dont nous parlons, que la chaleur à la surface du soleil fût très tolérable, ainsi que l'éclat lumineux. Nous accepterions avec beaucoup de peine cette idée par trop paradoxale. Arrivons maintenant à l'analyse du spectre solaire suivant Brewster.

CONSTITUTION DU SPECTRE SOLAIRE.

Avant les curieuses recherches du savant physicien écossais, on admettait : 1° que la lumière blanche du soleil est composée de rayons diversement colorés, parmi lesquels on distinguait surtout sept nuances, *violet*, *indigo*, *bleu*, *vert*, *jaune*, *orangé*, *rouge*; 2° que chacune des couleurs du spectre était une couleur simple; 3° que les rayons diversement colorés sont diversement réfrangibles.

Sir David Brewster prétend au contraire : 1° que la lumière solaire est composée de trois couleurs simples, le rouge, le jaune et le bleu; et que le spectre solaire, produit, soit par des prismes de substance translucide, soit par des rainures pratiquées dans des surfaces métalliques ou transparentes, se forme de trois spectres d'égale longueur qui commencent et se terminent aux mêmes points, savoir, un spectre rouge, un spectre jaune, un spectre bleu; 2° que toutes les couleurs du spectre solaire sont composées, chacune d'elles se formant de lumière jaune, rouge et bleue en diverses proportions; 3° que la différence de couleur n'entraîne pas la différence de réfrangibilité, c'est-à-dire qu'on ne peut plus admettre avec Newton que la même couleur ait toujours la même réfrangibilité, ou que le même degré de réfrangibilité appartienne toujours à la même couleur.

La figure ci-jointe représente, dans les idées de M. Brewster, la combinaison des trois spectres. Les ordonnées ax, bx, cx des différentes courbes représentent au point x les intensités respectives des rayons rouge, jaune et bleu. Le spectre rouge a son maxi-



Digitized by Google

mum d'intensité en R, le jaune a son maximum d'intensité en J et le bleu en B; ces trois maxima sont représentés par les ordonnées RR, JJ, BB.

De l'hypothèse de M. Brewster une fois admise, il résulte qu'en chaque point du spectre il existe nécessairement trois couleurs qui, par leur mélange, forment une teinte composée, et qu'il est impossible de séparer par la réfraction prismatique, parce que ces trois rayons, quoique diversement colorés, ont en ce point la même réfrangibilité. On ne pouvait donc espérer de démontrer cette hypothèse qu'en analysant la teinte composée résultant des trois rayons, au moyen de corps transparents, solides ou liquides, qui, absorbant un ou deux des rayons simples et laissant passer les autres, pouvaient séparer ou mettre en évidence un ou plusieurs des rayons simples. C'est, en effet, le genre de démonstration essayé par M. Brewster : suivons-le dans ses raisonnements.

« Il résulte, dit-il, de la simple inspection des espaces colorés que la lumière rouge existe dans les divisions rouge, orangée et violette du spectre. Mais, d'après les mesures de Fraunhofer, ces trois divisions occupent 190 parties sur 360 de la longueur totale du spectre; les rayons rouges se trouvent donc dans plus de la moitié du spectre total. Si nous examinons les espaces bleu et indigo au travers de certains liquides jaunes, tels que l'huile d'olive, ils prennent une teinte violette bien distincte; en sorte que ces liquides doivent avoir absorbé quelques rayons qui avaient neutralisé ou masqué le rouge. La lumière rouge existe donc dans les espaces bleu et indigo; et comme je montrerai bientôt que la lumière blanche, qui renferme nécessairement le rouge, peut être séparée des espaces vert et jaune, il s'ensuit que la lumière rouge existe dans les sept espaces colorés qui partagent le spectre.

» La couleur jaune se retrouve distinctement à l'œil dans les espaces orangé, jaune et vert, qui occupent 77 parties du spectre. Lorsqu'on examine le spectre avec un verre bleu foncé, la lumière verte est vue distinctement en F, qui est l'une des lignes de Fraunhofer; et comme une lame verte de gélatine transparente produit une bande blanchâtre au-delà de F, et dans l'espace bleu, il est clair qu'une portion de lumière jaune doit s'y trouver. Nous avons déjà vu que l'action de l'huile d'olive dans les espaces bleu et indigo est d'absorber certains rayons et de laisser une teinte violette; ces rayons ne peuvent pas être rouges, et ils ne sont pas bleus, parce que le blanc enlevé du bleu ne laisserait pas du violet; ils doivent donc être une petite portion de rayons jaunes qui, for-

Digitized by Google

mant du blanc avec le rouge et une portion de bleu, ont pour effet d'affaiblir la teinte bleue prédominante. L'existence simultanée des rayons jaunes et rouges dans les espaces bleu et indigo peut être déduite d'une autre expérience. Si nous transmettons le spectre au travers d'une certaine épaisseur d'une solution bleue de sulfate de cuivre et d'ammoniaque, les espaces bleu et indigo paraissent être fort affaiblis par la lumière blanche, c'est-à-dire que le bleu paraît être mêlé avec le rouge et le jaune.

» Maintenant, si cette lumière bleue, qui paraît être affaiblie, était un bleu pur et homogène qui ne contînt ni rayons rouges ni rayons jaunes, elle ne subirait pas plus de diminution en passant au travers d'une épaisseur additionnelle de sulfate de cuivre et d'ammoniaque que ne le ferait de la lumière blanche en passant au travers de la même épaisseur de cristal ou d'eau pure, c'est-à-dire qu'elle ne subirait aucun changement appréciable : or, en passant au travers de la solution de cuivre, le bleu devient promptement plus foncé et moins blanc, ce qui ne peut provenir que de l'absorption des rayons rouges et jaunes, qui lui donnaient une apparence de blancheur.

» Pour bien saisir la force de cet argument, il faut considérer que, bien qu'un liquide rouge ou bleu foncé paraisse opaque par rapport à la lumière blanche dont il absorbe les rayons, sauf les rouges ou les bleus, cependant il peut être regardé comme parfaitement transparent par rapport à la lumière bleue ou rouge qui le traverse librement. Rien n'est plus remarquable pour ceux qui font l'expérience pour la première fois, que l'imperceptible diminution d'intensité que subit un rayon de lumière rouge homogène en passant au travers d'une grande épaisseur d'un liquide rouge, particulièrement quand le rayon primitif est produit par la transmission au travers du même liquide rouge. — Un grand nombre d'expériences démontrent que la lumière jaune existe dans toutes les parties de l'espace rouge du spectre. En se servant d'un prisme de vin d'Oporto, de 30°, ou en regardant le spectre au travers d'une certaine épaisseur de baume de soufre, de baume du Pérou, de poix, ou de mica rouge, on peut voir directement la lumière jaune à la ligne marquée C par Fraunhofer, qui est assez avancée dans l'intérieur de l'espace rouge; et par l'action absorbante de ces quatre dernières substances, la totalité de l'espace rouge prend une teinte jaunâtre provenant de l'absorption de la lumière bleue. Le même effet est produit, mais d'une manière moins frappante, lorsqu'on transmet la lumière de l'espace rouge au travers de certaines lamelles transparentes jaunes, orangées et vertes, qui, absorbant toutes de la lumière bleue,

Digitized by Google

donnent à tout l'espace rouge une teinte orangée, c'est-à-dire une teinte contenant de la lumière jaune. A l'appui de l'opinion qu'il existe des rayons jaunes dans toutes les parties de l'espace rouge, on peut citer une observation de sir Herschell, qui eut occasion de voir le spectre prismatique réfléchi par du cuivre poli. La couleur du cuivre donnait aux rayons rouges l'apparence de l'orangé; la couleur orangée était elle-même différente de ce qu'elle doit être.

Il résulte de ces faits que la présence de la lumière jaune peut être constatée dans tous les espaces colorés, sauf le violet, où je n'ai pu encore la trouver, ce qui ne doit pas surprendre, si l'on prend en considération la grande faiblesse des rayons violets, et la facilité avec laquelle ils sont absorbés par des milieux de presque toutes les couleurs. Le sulfate bleu de cuivre ammoniaqué absorbe presque la totalité de l'espace violet, et le verre bleu azuré à peu près la moitié; en sorte qu'il est extrêmement difficile de le soumettre à l'action partielle des meilleurs absorbants.

» Il est évident même pour l'œil que la lumière bleue existe dans les espaces violet, indigo, bleu et vert qui occupent 247 parties du spectre, c'est-à-dire plus des deux tiers de sa totalité. Quand les rayons les plus réfrangibles sont absorbés par une certaine épaisseur de baume de soufre, de baume du Pérou, de poix, ou de mica rouge, le bleu mêlé avec le jaune, et formant le vert, peut être distingué très près de la ligne C de Fraunhofer, qui est fort avancée dans l'espace rouge. L'existence du bleu dans tout l'espace rouge est démontrée par les mêmes arguments qui ont servi pour la lumière jaune; car, quand l'espace rouge prend une teinte orangée par l'action absorbante de certains milieux jaunes, orangés et verts, le changement ne peut être dû qu'à l'absorption de la lumière bleue. »

M. Brewster cherche ensuite à compléter sa démonstration en montrant que la lumière blanche peut, dans toutes les parties du spectre, être séparée des autres couleurs.

« Quand nous regardons, dit-il, le spectre au travers d'un verre bleu d'une certaine épaisseur, nous isolons l'espace jaune, qui paraît alors d'une teinte très riche. Si l'on augmente l'épaisseur du verre, ce jaune composé prend la teinte pâle, couleur paille, de la flamme monochromatique produite par la combustion de l'alcool étendu d'eau salée. Une épaisseur encore plus grande du verre produit une bande d'un blanc verdâtre qui devient d'un blanc rougeâtre si l'on change le bleu du verre. Si maintenant on mêle une solution de sulfate de cuivre qui agit sur les rayons du côté rouge de l'espace jaune avec de l'encre rouge délayée qui agit sur les rayons du côté bleu du même espace, on réduira les rayons de cet espace jaune à une

Digitized by Google

lumière presque blanche, avec une légère teinte de vert quand le sulfate de cuivre sera en excès, et une légère teinte de rouge quand ce sera l'encre rouge. La séparation de la lumière blanche peut très bien être effectuée au moyen de quelques verres bleus azurés, et dans quelques cas la pureté de la lumière peut être augmentée par une solution de sulfate de cuivre et de fer, ou même par un verre vert. La lumière blanche mise en évidence peut être rendue jaune par le moyen d'une lamelle jaune transparente qui absorbe quelques uns de ses rayons bleus, et elle peut être rendue verte par une lamelle verte transparente qui absorbe quelques uns de ses rayons rouges. Il résulte de ces expériences que la lumière blanche, composée de rayons rouges, jaunes et bleus, existe dans les parties les plus lumineuses du spectre, et peut être séparée par l'absorption de la portion de lumière jaune ou d'autre couleur qui excède ce qui est nécessaire pour former la lumière blanche. Un prisme d'un grand pouvoir dispersif ayant été employé, ce fut une chose singulière et particulièrement intéressante que de voir pour la première fois un rayon de lumière blanche formé de rayons rouges, jaunes et bleus d'égale réfrangibilité, et ne pouvant être analysé par la réfraction prismatique. »

Un autre procédé d'absorption a permis à M. Brewster de séparer la lumière blanche dans l'espace orangé et l'espace vert.

Voilà les arguments apportés par M. Brewster en preuve de son hypothèse ; sont-ils vraiment concluants, et l'illustre physicien a-t-il été aussi bon logicien qu'il est habile observateur ? Nous ne le pensons pas ; nous sommes, au contraire, forcé d'admettre que cette série de raisonnements repose, en réalité, sur des abus de mots, et que sa démonstration n'est au fond qu'un paralogisme. Entrons à ce sujet dans quelques détails.

Et d'abord, avant d'employer sans cesse les mots blanc, rouge, bleu, etc., il faudrait les définir ; ils sont susceptibles d'une multitude d'acceptions : il y a blanc et blanc, bleu et bleu, rouge et rouge... M. Brewster le sait mieux que tout autre, puisqu'il croit avoir trouvé un blanc indécomposable par le prisme, etc. L'abus de mots dont je me plains consiste précisément dans l'emploi de termes non définis, et que l'on prend sans raison dans une acception favorable au système que l'on a adopté d'avance, tandis qu'ils sont susceptibles de significations diverses. Ainsi, par exemple, quand M. Brewster dit, sans avoir l'air d'y prendre garde, *qu'il résulte de la simple inspection des espaces colorés que la lumière rouge existe dans les divisions rouge, orangée et violette du spectre ; .. que la couleur jaune se retrouve distinctement à l'œil dans les espaces orangé*,

Digitized by Google

jaune et vert ;... qu'il est évident pour l'œil que la lumière bleue existe dans les espaces violet, indigo, bleu et vert, etc., etc., on a droit de l'arrêter tout court et de révoquer en doute des assertions qui sont vraiment gratuites. Que peuvent-elles, en effet, signifier? Une seule chose, évidemment, c'est que la sensation de la lumière orangée a quelque analogie avec celle de la lumière rouge, que la seconde rappelle un peu la première, que les deux sensations produites ont entre elles un certain rapport, etc., etc. ; mais en peut-on conclure que la lumière orangée contient du rouge à l'état de rouge? évidemment non. Au contraire, puisque ces deux lumières dans le spectre, à l'état où elles se présentent à nous, diffèrent réellement par des caractères extérieurs, la sensation produite et la réfrangibilité ; par des caractères essentiels, la longueur d'ondulation, nous devons affirmer que l'une n'est pas l'autre, et n'est pas formée de l'autre.

C'est bien pis encore quand M. Brewster, arrivé par une série d'opérations à une certaine couleur, lui donne simplement le nom de bleue, de verte, de blanche : la témérité est alors beaucoup plus grande. Il devrait se contenter de dire : la lumière à laquelle je suis parvenu a quelque analogie avec la lumière blanche, puisque les sensations produites par ces deux lumières ont entre elles quelque ressemblance ; tout ce qu'il ajoute est affirmé gratuitement, on a le droit de le nier. Ainsi, la lumière blanche dont l'apparition l'a tant étonné, et dont la découverte est vraiment un fait curieux, avait, il l'avoue, une teinte verdâtre, ce n'était donc pas du blanc pur ; ce n'était certainement pas même du tout du blanc, en prenant ce mot dans son acception reçue ; et la preuve, c'est que cette lumière n'était pas décomposée par le prisme.

Ces considérations me semblent prouver déjà d'une manière certaine que les prétendues démonstrations de M. Brewster n'offrent rien de sérieux, qu'on n'a pas même le droit de conclure de ses recherches que la différence de couleur n'est pas une preuve de la différence de réfrangibilité, ce que beaucoup de physiciens affirment actuellement avec tant de légèreté ; et en effet, tant que les couleurs n'auront pas été définies autrement qu'elles ne l'ont été jusqu'ici, les sept couleurs principales seront toujours celles qui, transmises par tel prisme de telle substance, sont réfractées de telle manière, déviées de telle quantité, présentent en un mot telle réfrangibilité ; le blanc ne cessera pas d'être la réunion dans des proportions connues de ces sept couleurs fondamentales. On pourra, il est vrai, affirmer qu'il est certaines couleurs produisant des sensations analogues à celles que causent les couleurs orangé, vert, indigo, violet, etc., et qui

Digitized by Google

sont, non de la lumière simple, mais des mélanges dans certaines proportions de rouge, de bleu et de jaune; que certaines couleurs causant une sensation analogue à celle du blanc sont à peu près indécomposables par le prisme ou résultent elles-mêmes de la superposition de certaines quantités de rouge, bleu, jaune. Mais de là à l'assertion de M. Brewster, qu'il n'y a dans le spectre que trois couleurs réellement distinctes, il y a une distance infranchissable.

Le paralogisme consiste encore à se servir de l'absorption sans savoir en quoi elle consiste et quel est son effet essentiel. La lumière transmise est-elle la lumière primitive simplement tamisée, qui a perdu seulement quelques uns des éléments qui, par leur mélange, lui donnaient naissance? N'est-ce pas plutôt cette même lumière plus intrinsèquement modifiée, ou bien encore n'est-ce pas une lumière nouvelle? Il fallait d'abord résoudre ces graves questions avant de rien affirmer, ce qui n'est pas possible dans l'état actuel de la science, puisque partout les doutes et les ténèbres surabondent. Ici donc encore M. Brewster a manqué de prudence.

Un exemple bien frappant jettera une nouvelle lumière sur cette discussion, et fera mieux ressortir encore le défaut de logique que nous signalons. Tout le monde sait que lorsqu'un corps sonore est mis en vibration et rend un son déterminé, ses vibrations se transmettent par communication de mouvement à ceux des corps environnants qui sont placés dans des conditions favorables, de telle sorte que ces corps rendent eux-mêmes des sons propres. Nous avons vu répéter hier cette expérience dans des proportions vraiment étonnantes. M. Marloye, qui a déjà tant enrichi la science du son d'instruments précieux, a fait construire un diapason qu'on pourrait appeler diapason-monstre, haut de 50 centimètres, lourd de 52 kilogrammes, et qui, frotté par un archet, rend le son ut_3 d'un bourdon de 8 pieds, correspondant à 128 vibrations. L'intensité de cet *ut*, renforcé par une masse d'air proportionnée, est véritablement formidable, et le son du tuyau d'orgue ne peut nullement, sous ce rapport, lui être comparé. On s'assure d'ailleurs facilement que ce que l'on perçoit est vraiment un son simple résultant d'un système unique de vibrations, et dont les harmoniques ne ressortent pas du tout. Or, pendant que cet *ut* résonnait, plusieurs des vitres de l'appartement résonnaient elles-mêmes; l'une d'elles, entre autres, rendait un son éclatant. Admettons que ce son, qui avait évidemment un rapport simple avec le son ut_3 fût, par exemple, la_5, ou la quarte à la double octave: le son ut_3 *transmis* par la vitre est donc devenu le son *la*. Qu'en conclurait le physicien qui raisonnerait à la manière de M. Brewster? Que le son ut_3, loin d'être un son simple, est un son certainement composé, renfer-

Digitized by Google

mant au nombre de ses composants le son la_3. Ce serait évidemment une grossière erreur que personne, sous cette forme, ne voudrait accepter, et voilà cependant l'illusion dont le savant physicien anglais n'a pas voulu se défendre.

Non, la couleur jaune qui apparaît dans la lumière qui a traversé, par exemple, une certaine épaisseur du vin d'Oporto, n'était pas plus renfermée dans le rayon primitif rouge, que le son la_5 de la vitre n'est renfermé dans le son simple ut_3 du diapason-monstre. Ce jaune, au contraire, est un rayon lumineux nouveau, dépendant à la fois et du rayon primitif rouge, et du milieu coloré qu'il a traversé, comme le son la_3 est un son nouveau dépendant à la fois du son primitif ut_3, des dimensions et du degré de tension de la vitre, etc., etc.

Cette vérité ressortira bien plus encore quand nous aurons développé la théorie des couleurs adoptée par Euler, et renouvelée par M. Arago. Ce que nous venons de dire suffit, il nous semble, pour condamner sans retour le moyen d'analyse par les corps absorbants que M. Brewster a osé accepter et conseiller dans ses recherches sur la composition du spectre solaire. Que Newton, en voyant la lumière, par son simple passage à travers un corps limpide, transparant, dépourvu par conséquent de toute action perturbatrice sensible sur le mouvement lumineux, se tamiser et se partager en un nombre indéfini de rayons diversement réfrangibles, affirme sans crainte que le rayon de lumière blanche était un rayon composé ou formé de la réunion d'autres rayons simples, ou peut-être même aussi composés, parmi lesquels l'œil distingue surtout sept couleurs bien tranchées: nous comprenons cette conclusion, nous admettons sans objection aucune ce procédé d'analyse.

Que pour étudier un bruit ou un son formé de la réunion de plusieurs autres sons, on fasse, avec M. Savart, réfléchir ce bruit par une paroi solide dont l'action extinctive et la résonnance propre puissent être complétement négligées, et qu'alors que par l'acte même de la réflexion les mouvements simples de longueurs d'ondulations différentes se seront séparées, on prononce que ces ondes élémentaires sont précisément les composantes du son ou du bruit primitif: nous ne nous refuserons pas à une déduction si naturelle, nous applaudirons à cette ingénieuse manipulation.—Mais que pour analyser la lumière on la soumette à l'action de milieux capables d'une sorte d'illumination propre, suscitée dans leur sein par l'ébranlement primitif; de milieux qui, suivant l'expression de M. Arago, engendrent une lumière propre sous l'influence du rayon qui les éclaira d'abord: que pour analyser un son on emploie comme réactif

Digitized by Google

une paroi qui va vibrer elle-même et donner naissance à un son propre, c'est vraiment inconcevable, et l'on nous pardonnera d'avoir tant insisté sur la réfutation du travail d'ailleurs curieux de M. Brewster, parce qu'il ouvrait une voie funeste.

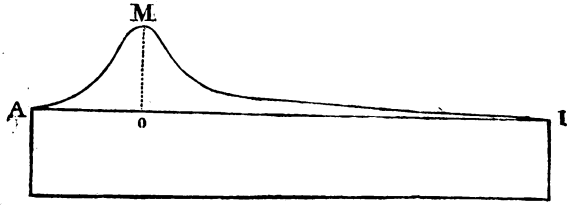
L'illustre physicien nous pardonnera de l'avoir franchement combattu. Nous ne pouvions nous taire quand nous avions la conviction intime qu'il avait imprimé à la science un mouvement rétrograde. La couleur était réellement bien définie par la sensation produite, quand cette sensation était particularisée, caractérisée par la réfrangibilité ou la longueur d'ondulation; il y avait là le *genre* et la *différence prochaine* que réclame toute bonne définition; il y avait un fondement solide à l'analyse de la lumière transmise par les divers milieux; il y avait de quoi spécifier, non pas la nature intime, mais le résultat de l'absorption produite par ces mêmes milieux. Dans les idées de M. Brewster, où rien n'est et ne peut plus être défini, où tout est confondu, il n'y a qu'incertitude et ténèbres. Le progrès ici donc, comme souvent ailleurs, sera dans le retour, et nous nous en tiendrons jusqu'à nouvel ordre aux idées admises sur la constitution du spectre solaire. Bien avant M. Brewster, Mayer regarda toutes les couleurs comme provenant de trois couleurs primitives, le rouge, le jaune et le bleu; Young voulut que les trois couleurs fondamentales fussent le rouge, le vert et le violet. Chacune de ces hypothèses rendait facilement compte de toutes les nuances possibles, et les représentait numériquement, pourvu qu'on n'eût égard qu'à la sensation prédominante. Mais ce ne sont pas là, pas plus que chez M. Brewster, des théories vraiment physiques.

M. Mathiessen d'Altona a présenté à l'Académie des sciences, le 8 juillet 1844, des dessins du spectre solaire vu par son lentiprisme perfectionné, lequel s'étend au-delà du rouge extrême de Fraunhofer et y ajoute une étendue violette égale aux trois quarts de tout le spectre optique préalablement connu. Cette nouvelle partie violette du spectre est couverte d'un grand nombre de raies obscures, remarquables pour la plupart par leur disposition régulière en groupes. Il est fâcheux que cette annonce de M. Mathiessen n'ait pas reçu la sanction de la science. Ce fait était assez extraordinaire pour que les commissaires nommés par l'Académie, MM. Arago, Mathieu, Babinet, dussent s'expliquer immédiatement sur son existence; surtout puisque M. Mathiessen avait déposé sur le bureau du président les appareils nécessaires à la vérification des expériences. Ce qu'il y a au moins de remarquable, c'est que le fait énoncé est pleinement d'accord avec la théorie: si l'on devait découvrir une nouvelle couleur vers l'extrémité rouge du spectre, cette couleur devait être violette,

Digitized by Google

tandis que la couleur que l'on pourra mettre un jour en évidence à l'extrémité violette devra nécessairement être rouge. Euler a depuis longtemps prévu ces faits.

Terminons cet examen du spectre solaire en rappelant que, suivant Fraunhofer, les intensités lumineuses des diverses parties du spectre sont représentées par les nombres suivants : rouge extérieur, 32; milieu du rouge, 94; orangé, 640; entre le jaune et l'orangé, 1000; vert, 480; bleu, 170; entre le bleu et le violet, 31; milieu du violet, 5. La figure ci-jointe représente assez bien ces variations d'intensité; le maximum M se trouve à la séparation O de l'orangé et du jaune.



DES COULEURS EN ELLES-MÊMES.

Arrivons maintenant à une question plus grave encore : Que sont en elles-mêmes les couleurs?

Les anciens philosophes ont mis les couleurs au nombre des corps dont nous ne connaissons que les noms. Quand on leur demandait pourquoi tel corps était rouge, ils répondaient que c'était par une qualité qui le faisait paraître rouge.

Dans le système de l'émission, où les rayons sont supposés sortir des corps lumineux en forme d'effluve dardé en tous sens, on veut que les particules lancées diffèrent en grosseur ou en masse, de même qu'un robinet pourrait donner du vin, de l'huile et d'autres liqueurs; de sorte que les différentes couleurs soient causées par diverses matières subtiles lancées des corps lumineux. La couleur rouge serait donc une certaine matière subtile lancée d'un corps lumineux; la couleur jaune et les autres couleurs seraient une autre matière subtile, etc., etc. Si le système de l'émission était soutenable, cette hypothèse rendrait compte assez naturellement des diverses couleurs.

Descartes, qui le premier eut le courage d'approfondir les mystères de la nature, attribua les couleurs à un certain mélange de lumière

Digitized by Google

et d'ombre. Mais comment l'ombre, qui est une absence de lumière, pourrait-elle produire les différentes couleurs ?

De fait, comme nous ne voyons que par les rayons qui entrent dans nos yeux, il faut que les rayons qui excitent la sensation de la couleur rouge soient d'une autre nature que ceux qui nous donnent la sensation des autres couleurs ; et par conséquent, chaque couleur doit dépendre d'une certaine qualité de rayons qui vient frapper l'organe de la vue. Un corps nous paraît rouge, lorsque les rayons qu'il envoie à nos yeux sont de nature à exciter la sensation du rouge.

La question des couleurs se résout donc dans cette autre question : En quoi consiste la différence qui existe entre les divers rayons lumineux, et qui fait que les uns excitent la sensation du rouge et les autres la sensation des autres couleurs ?

Des couleurs simples.

Nous désignons sous le nom de couleurs simples les couleurs qui résultent d'un seul et même mouvement lumineux ; les couleurs composées sont pour nous celles qui ont leur cause dans la coexistence, la superposition, la mutuelle influence de divers mouvements lumineux. Dans l'hypothèse de l'émission, les couleurs simples correspondraient à l'impression produite par une seule espèce de molécules lumineuses, animées toutes de la même vitesse. Les couleurs composées seraient produites par l'action simultanée de molécules différant les unes des autres par leur matière ou la vitesse dont elles sont animées.

Pour jeter dès le début un plus grand jour sur la théorie des couleurs simples ou composées, considérées en elles-mêmes ou dans les corps, nous analyserons avec quelque étendue la belle exposition du système des ondulations que le grand Euler nous a laissée.

» L'éther est un fluide comme l'air, mais infiniment plus subtil et plus délié. Il a une très grande élasticité par laquelle il tend à se répandre dans les espaces qui pourraient être vides, de sorte que si par quelque accident l'éther était chassé de quelque endroit, l'éther voisin s'y précipiterait dans un instant, et cet endroit en serait de nouveau rempli. En vertu de cette élasticité, l'éther ne se trouve pas seulement au-dessus de notre atmosphère, mais il la pénètre partout, s'insinue dans les pores de tous les corps d'ici-bas, et les traverse librement. De même que l'air est propre à recevoir les agitations ou les ébranlements des corps sonores et de les répandre en tous sens, ce qui fait la propagation du son ; l'éther doit

Digitized by Google

pouvoir lui-même recevoir des ébranlements, et les continuer à de très grandes distances. Les ébranlements de l'air produisent le son ; les ébranlements de l'éther donnent naissance à la lumière ou aux rayons lumineux. Il ne vient donc rien de plus du soleil jusqu'à nous que d'une cloche dont le bruit parvient à nos oreilles. Le soleil en éclairant ne perd pas plus de sa substance que la cloche en sonnant.

» Une cloche ne lance pas de particules qui entrent dans les oreilles. On n'a qu'à la toucher, pour s'assurer que toutes ses parties sont agitées d'un frémissement très sensible. Cette agitation se communique de proche en proche aux particules plus éloignées, de sorte que toutes en reçoivent successivement un frémissement semblable, qui, pénétrant dans l'oreille, y excite le sentiment du son. On voit trembler, aller et venir les cordes d'un instrument de musique ; on peut même déterminer par le calcul combien de vibrations chacune d'elles exécute par seconde ; ces vibrations sont transmises aux particules de l'air voisines de l'organe de l'ouïe, l'oreille en est frappée autant de fois précisément pendant une seconde. Plus le nombre d'oscillations que la corde achève dans une seconde est grand, plus le son est haut et aigu, tandis que les vibrations moins fréquentes produisent des sons bas et graves. Les mêmes circonstances qui accompagnent la sensation de l'ouïe se trouvent d'une manière tout-à-fait analogue dans celle de la vue.

» Il n'y a que le milieu et la rapidité des vibrations qui soient différents. Quant au son, c'est l'air à travers lequel les vibrations des corps sonores sont transmises ; mais à l'égard de la lumière, c'est l'éther ou ce milieu incomparablement plus subtil et plus élastique que l'air, qui se trouve répandu partout où l'air et les corps de la nature laissent des interstices.

» Si la densité de l'air diminuait, le son serait accéléré ; il le serait encore si l'élasticité de l'air augmentait : donc, puisque l'éther est à la fois moins dense et plus élastique que l'air, on ne doit pas être surpris que la vitesse de la lumière soit si incomparablement plus grande que celle du son.

» Les vibrations qui causent la lumière sont évidemment plus vives et plus rapides que celles qui causent le son, puisque l'éther, incomparablement plus subtil que l'air, est bien plus difficile à mettre en vibrations. 32 vibrations par seconde suffisent pour produire un son dans l'air ; il faut des vibrations beaucoup plus fréquentes, plusieurs milliers ou millions de vibrations peut-être par seconde, avant que l'éther soit ébranlé. Une agitation si rapide ne

Digitized by Google

peut exister que dans les plus petites particules éthérées que les corps renferment, qui par leur imperceptibilité échappent à nos sens. La lumière est donc produite par une agitation extrêmement vive et rapide, qui se trouve dans toutes les particules éthérées des corps lumineux et du soleil, dont chacune doit s'ébranler plusieurs millions de fois dans chaque seconde.

» Toutes les fois donc que cet éther est mis en vibrations, et que ces vibrations sont transmises à l'œil, l'œil reçoit la sensation de la vision, qui n'est alors autre chose qu'un système de vibrations semblables qui agitent les plus petites fibres nerveuses du fond de l'œil.

» On comprend que la sensation doit être différente selon que le mouvement vibratoire est plus ou moins fréquent, ou que le nombre des vibrations qui se font dans une seconde est plus ou moins grand. Il doit en résulter une différence semblable à celle qui se fait dans les sons lorsque les vibrations rendues dans une seconde sont plus ou moins fréquentes. Cette différence est très sensible à notre oreille, puisque le grave et l'aigu des sons en dépendent. Il n'est pas douteux que le sens de la vue ne soit aussi différemment affecté, selon que le nombre des vibrations excitées dans les fibres nerveuses du fond de l'œil est plus ou moins grand. Il est bien vrai que l'organe de notre vue n'est pas en état de compter ces grands nombres, moins encore que notre oreille ne compterait les vibrations qui constituent les sons; mais toujours pouvons-nous fort bien distinguer le plus et le moins ou les rapports. C'est dans cette différence et dans ces rapports qu'il faut chercher la cause des diverses couleurs, et l'on ne saurait douter que chaque couleur réponde à un certain nombre de vibrations dont les fibrilles de nos yeux sont animées dans une seconde, quoique nous ne soyons pas encore en état de déterminer le nombre qui convient à chaque couleur, comme nous le faisons pour les sons.

Les diverses couleurs sont donc, par rapport à la vue, ce que sont les différents sons de la musique pour l'ouïe.

Les divers sons diffèrent entre eux par trois caractères saillants, le ton, l'intensité et le timbre. Le ton consiste dans l'élévation plus ou moins grande du son, qui peut être grave ou aigu.

L'intensité est la force plus ou moins grande du son, qui produit sur l'oreille une sensation plus ou moins forte.

Le timbre enfin est cette qualité particulière qui fait qu'on distingue l'un de l'autre deux sons, le *fa* de la flûte, par exemple, et le *fa* du cor, quoique ces deux sons aient le même ton ou vibrent à l'unisson d'un même diapason. Cette sensation du timbre peut,

Digitized by Google

sous quelque rapport, être comparée au phénomène que l'on remarque dans la voix humaine : quand en chantant on prononce *a*, le son est tout autre que si l'on prononçait l'une des lettres *e*, *i*, *o*, *u*, et il est bien évident qu'il ne faut pas chercher la différence dans le *ton* du son, qui est resté le même. »

L'*intensité* d'un son dépend également et du nombre des particules sonores qui vibrent simultanément, et de l'amplitude des oscillations de ces particules ou de l'étendue de leurs excursions. L'expérience prouve que le son d'un timbre, par exemple, devient beaucoup plus intense, si on le met en présence d'une masse d'air qui puisse vibrer à son unisson ; ou si on le frappe ou le frotte plus fort ; ou si on le fait vibrer dans l'air condensé, ou si, sans faire varier la densité de l'air renfermé dans le récipient, on augmente l'élasticité de cet air en élevant sa température. L'intensité du son diminue, au contraire, à mesure que le vide du récipient dans lequel on a placé le timbre devient plus parfait : alors, en effet, l'air du récipient, devenu plus rare et moins élastique, est moins comprimé, et revient avec moins d'énergie à sa position primitive, etc. Tout le monde sait que sur les hautes montagnes, où l'air est plus rare, le son est beaucoup plus faible que dans la plaine.

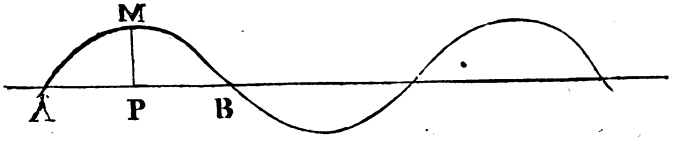
Le *ton* du son ne peut pas être tantôt grave, tantôt aigu, sans qu'il y ait quelque variation dans le mouvement de l'air qui agit sur l'organe de l'ouïe, et par conséquent aussi dans le mouvement du corps sonore. Cette différence ne consiste pas dans des vibrations plus ou moins fortes : la force des vibrations détermine seulement, en effet, la quantité ou l'intensité du son ; elle ne peut donc avoir pour raison que la rapidité plus ou moins grande de ces mêmes vibrations. Cette conclusion s'appuie sur de nombreuses expériences.

Quand une corde vibrante est plus courte, plus tendue, ou d'un plus petit diamètre, elle rend un son plus aigu ; elle rend, au contraire, un son plus grave quand elle est plus longue, moins tendue, d'un plus grand diamètre ; et il est prouvé par le fait même que la corde plus courte, plus tendue, plus fine, fait un bien plus grand nombre d'oscillations que la corde plus longue, moins tendue, moins fine. Cette différence est sensible, même à la vue. Le son aigu est donc rendu par les cordes dont les oscillations sont plus nombreuses ; le son grave, par les cordes qui oscillent plus lentement. On s'assure encore que l'acuité du son augmente dans la même proportion que le nombre des oscillations. L'oscillation plus ou moins fréquente est donc liée intimement avec le ton du son rendu par la corde ; et le ton dépend de la rareté ou de la fréquence des oscilla-

Digitized by Google

tions, comme l'effet dépend de la cause. Ce que nous venons de dire des cordes s'étend aux cloches, aux timbres, aux verres, à tous les corps sonores de ce genre; les corps percutés passent de leur forme circulaire à la forme ovale, et exécutent un certain nombre d'oscillations, se déformant tour à tour et revenant à leur forme première. Le son qui résulte de ce mouvement oscillatoire est d'autant plus aigu que le mouvement est plus rapide. Remarquons d'ailleurs que le nombre des vibrations excitées dans l'air est toujours proportionnel au nombre des oscillations du corps sonore; donc le ton d'un son transmis par l'air est en rapport direct avec le nombre des oscillations des molécules aériennes.

La question du *timbre* est plus délicate et moins bien résolue. Quelques auteurs semblent croire que le timbre peut être considéré comme une qualité inhérente même aux sons simples, en sorte que deux sons simples uniques pourraient se distinguer l'un de l'autre. Il semble, dit Baumgartner, que la qualité ou le timbre d'un son dépend de la loi qui détermine les vitesses successives que prend la molécule vibrante pendant le temps d'une oscillation. Cette loi peut être plus ou moins simple, plus ou moins compliquée, et par suite le son produit peut n'être qu'un bruit, ou, s'il arrive à l'état de son, se revêtir de l'un des caractères que l'on désigne sous tant de noms divers : bourdonnement, mugissement, sifflement, etc. Supposons, pour fixer les idées, qu'un mouvement vibratoire ou ondulatoire de l'air soit représenté par la courbe suivante, dans laquelle les abscisses représentent le temps, et les ordonnées la vitesse des particules vibrantes; AB, ou la demi-longueur d'onde proportionnelle au temps que la molécule met à faire son excursion, déterminera le ton du son ; MP, ou l'amplitude maximum, définirait

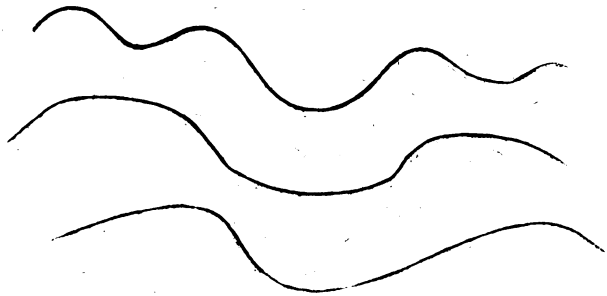


son intensité; la forme de la courbe enfin, qui constitue la loi des vitesses, fixerait le timbre, dans l'idée de M. Baumgartner.

Les divers sons représentés par les courbes suivantes auraient même longueur d'ondulation, même amplitude maximum, et par conséquent même ton, même intensité; mais comme les formes des courbures sont essentiellement différentes, les timbres des sons produits seraient par là même essentiellement différents.

Digitized by Google

M. Pouillet dit que le timbre dépend de l'ordre dans lequel se succèdent les vitesses et les changements de densité dans les diffé-



rentes tranches d'air qui sont comprises entre les deux extrémités de l'onde, et qu'il dépend aussi de ce que les portions condensées et raréfiées de l'onde peuvent être dissymétriques dans une foule de circonstances.

Il me semble beaucoup plus probable que le timbre n'est pas une qualité propre du son simple unique, et qu'il appartient essentiellement au son composé ou multiple. Tous les corps sonores rendent nécessairement en vibrant plusieurs sons distincts; il est comme impossible de faire produire à une corde un seul son; le son résultant de ses oscillations est toujours multiple, et une oreille exercée distingue facilement les divers sons composants. Or, le timbre, dans notre opinion, serait précisément la sensation résultant de l'ensemble des sons composants; le nombre, la nature, l'intensité de ces sons, varient d'un corps à l'autre, et voilà pourquoi il y a tant de timbres différents. Ainsi donc chaque corps qui vibre et chaque particule de ces corps sont animés de divers mouvements vibratoires simultanés. Le plus prononcé de ces mouvements étouffe en quelque sorte les autres, et détermine le ton; les autres influent sur l'intensité et le timbre. Cette manière de voir ne contredit pas absolument l'opinion que nous avons d'abord énoncée; car, quand la forme de la courbe qui représente le mouvement ondulatoire est complexe, le son rendu est en général multiple. M. Seebeck croit, par exemple, que la seconde forme de courbe correspond à un mouvement qui produirait à la fois le son fondamental et son octave.

Ce que nous venons de dire pour le son doit s'appliquer à la lumière avec des modifications convenables; de sorte que dans toute couleur nous devons retrouver aussi le ton ou la *teinte*, l'intensité ou l'*éclat*, et de plus quelque chose d'analogue au timbre ou la *nuance*.

Digitized by Google

On peut comparer les couleurs aux divers sons d'une octave, puisque les couleurs comme les sons se peuvent exprimer en nombres. Newton a conclu de ses expériences que les sept couleurs principales occupent dans le spectre des espaces qui sont entre eux dans la même proportion que les intervalles des sept sons de la gamme.

Terminons ce que nous venons de dire sur les couleurs simples en demandant si une couleur donnée est en elle-même quelque chose d'absolu, qu'on puisse déterminer en soi, ou si elle n'est que relative; de telle sorte qu'on ne l'apprécie que par comparaison avec une autre couleur adjacente, ou dont le souvenir a conservé la sensation. On doit forcément admettre, il nous semble, que la couleur, comme le son, est quelque chose d'absolu, puisqu'elle est le résultat d'une série d'impressions réelles produites sur l'organe de la vue; mais que l'appréciation du ton de la couleur est quelque chose de relatif, quoique dans un degré moins déterminé que pour le son. Tous les sons, en effet, quant au ton, s'expriment facilement au moyen d'un son unique, pris pour point de départ, et l'on est loin d'avoir obtenu quelque chose de semblable pour les couleurs.

Des couleurs composées.

Tout le monde sait que l'ensemble de plusieurs sons formant un son composé peut produire, quant au ton, le même effet qu'un son simple. De plus, lorsque deux corps résonnent à la fois, l'oreille à laquelle arrivent, par l'intermédiaire de l'air, les deux sons produits est moins fortement impressionnée quand les deux impulsions qu'elle reçoit arrivent dans des instants différents; elle l'est plus fortement, au contraire, quand les deux impulsions sont simultanées. Si les deux sons ont le même ton, c'est-à-dire si les deux nombres de vibrations sont les mêmes, l'oreille ne percevra pas cette inégalité de sensation, soit que les vibrations des deux sons se succèdent ou se suivent: car, dans le premier cas, les pulsations coïncideront toujours; dans le second, elles ne se rencontreront jamais, et l'oreille n'aura la sensation que de l'un des sons. Mais si les nombres de vibrations sont différents, alors même qu'elles n'auraient pas commencé à la fois, elles finiront par se rencontrer; l'oreille sera alors plus vivement affectée, et il en résultera pour elle une série de battements qui se succéderont avec plus ou moins de rapidité, et produiront le même effet que si un troisième corps envoyait à l'oreille ses vibrations. Quand le nombre

Digitized by Google

des battements par seconde sera suffisamment grand, leur ensemble produira la sensation d'un son nouveau distinct des deux sons primitifs; ce son nouveau fera naître à son tour de nouveaux battements, etc., etc., et l'on verra apparaître toute une classe de sons secondaires que l'on a désignés sous le nom de *sons résultants* ou *combinés*. On les nomme aussi *sons subjectifs*, parce qu'ils ne sont pas le résultat direct des vibrations d'un corps sonore, et qu'ils ont leur raison fondamentale dans l'organe même de l'ouïe. Cette dénomination de *son subjectif* est moins exacte depuis que Savart a démontré que les battements ne se produisent pas seulement dans l'oreille, mais qu'ils existent avant tout dans les corps vibrants primitifs, et que de là ils se propagent réellement dans les différents milieux comme les autres sons. En faisant parler deux tuyaux d'orgue, rendant, par exemple, les sons *do* et *ré*, on éprouve à chaque battement de très fortes secousses dans les mains placées sur le sommier ou sur les tuyaux. Il en est de même si l'on touche une contre-basse dont on fait vibrer deux cordes, de manière à obtenir des battements. On remarque en outre que les cordes éprouvent des maxima et des minima dans leurs amplitudes; que le maximum de l'une coïncide avec le minimum de l'autre. Quand les battements sont produits par deux tuyaux à anches, on voit que leurs languettes éprouvent des variations très considérables dans leurs amplitudes. Il est donc très probable que les sons résultants ne sont pas exclusivement des sons subjectifs.

Appliquons ce que nous venons de dire à la lumière. S'il existe des sons composés, il doit exister aussi des couleurs composées. Si la réunion de plusieurs sons peut différer par l'intensité seulement et par le timbre d'un son simple, ou peut produire quant au *ton*, c'est-à-dire quant à ce qu'il y a de plus essentiel, la même sensation qu'un son simple; si l'existence simultanée de deux sons peut donner naissance à un son nouveau ou même à une série de sons distincts des sons primitifs, ne doit-on pas admettre aussi que la réunion de plusieurs couleurs peut différer par l'éclat seulement, ou par quelque autre propriété accidentelle d'une couleur simple; peut produire quant à ce qu'il y a de plus essentiel, le même effet qu'une couleur simple, et que l'existence simultanée de deux couleurs peut donner naissance à une couleur nouvelle, ou même à une série de couleurs distinctes des couleurs primitives? Cette conclusion n'est pas pour nous l'objet d'un doute sérieux. Mais arrêtons-nous à cet aperçu; attendons, pour entrer dans de plus grands détails, que l'on ait réuni un plus grand nombre de faits.

Digitized by Google

DES COULEURS CONSIDÉRÉES DANS LES CORPS.

THÉORIES DIVERSES SUR LES COULEURS PERMANENTES DES CORPS.

S'il est très difficile, comme nous l'avons vu, de bien définir les couleurs en elles-mêmes, il est beaucoup plus difficile encore d'expliquer d'une manière pleinement satisfaisante, le phénomène si remarquable de la coloration des divers corps de la nature.

Théorie de Newton.

Exposons d'abord en peu de mots la théorie si hardie et si ingénieuse de Newton, sous les formes principales qu'elle a reçues. Cette théorie repose sur divers *postulata* qu'il faut d'abord énumérer.

1° Tous les corps sont poreux ; les pores ou intervalles vides de la matière pondérable prennent une partie beaucoup plus considérable de l'espace occupé par un corps que les parties solides qui le constituent essentiellement.

2° Les particules solides d'un milieu, et par suite les pores, ont une grandeur et peut-être une figure qui leur est propre, et qui convient uniquement à ce milieu ; cette grandeur ne peut être changée par une action mécanique ou par aucune autre voie qui n'entraine pas un changement dans la nature chimique ou dans la constitution intime du milieu ; ces particules sont, en un mot, les derniers atomes. Rompre ces atomes, c'est détruire leur essence et leur donner une autre forme matérielle possédant d'autres propriétés.

3° Ces atomes sont parfaitement diaphanes et également perméables à la lumière de tous les degrés de réfrangibilité, qui, dès qu'elle a une fois pénétré leur surface, poursuit sa route au travers de leur substance.

4° L'opacité des corps provient de la multitude des réflexions qui ont lieu dans leur intérieur.

5° Les couleurs des corps sont celles des lames minces ; elles sont dues à la même cause, c'est-à-dire à l'intervalle entre les surfaces antérieures et postérieures des atomes. Lorsque cet intervalle est un multiple impair de la moitié de la longueur de l'accès, d'un rayon coloré quelconque qui se meut dans ce milieu, ce rayon ne peut pas pénétrer. Le contraire a lieu si cet intervalle est un multiple pair ; c'est donc l'épaisseur des atomes et leurs distances réciproques qui déterminent la couleur qu'un milieu réfléchit ou trans-

Digitized by Google

met sous l'incidence perpendiculaire. Ainsi, si les molécules ou interstices ont une grandeur au-dessous de l'intervalle qui correspond à la transmission, c'est-à-dire au bord de la tache noire dans les anneaux réfléchis, le milieu composé de ces atomes et de ces pores sera parfaitement diaphane. Si la grandeur dont il s'agit surpasse cet intervalle, le milieu réfléchira une couleur correspondant à l'excès d'épaisseur.

Développements donnés par M. Biot.

« Aucun corps n'est un assemblage continu de matière, mais tous sont composés de particules matérielles placées à distance, et maintenues dans cet état par les forces opposées de l'attraction et de la chaleur; il est probable même que dans les corps qui nous paraissent les plus denses, la capacité des interstices surpasse plusieurs milliers de fois le volume des particules matérielles. Ce mode de constitution des corps est d'ailleurs, évidemment, le plus général que l'on puisse concevoir. Pour expliquer maintenant comment de pareils systèmes peuvent avoir des couleurs propres, qui demeurent les mêmes sous tous les aspects, il suffit d'admettre que les groupes de particules les plus composées y sont fort petits, et que, soit par leur densité, soit par leur nature, ils réfractent la lumière beaucoup plus fortement que le milieu ou les milieux quelconques qui sont interposés entre eux. La première condition est autorisée par l'impossibilité où nous sommes de distinguer avec les meilleurs microscopes ces groupes élémentaires; la seconde est nécessaire pour que leurs couleurs soient permanentes sous toutes les inclinaisons.

» Lorsqu'un faisceau lumineux pénètre dans un pareil système, on doit d'abord concevoir qu'un certain nombre de rayons peuvent passer parmi tous les groupes sans les traverser, et de là ressortir de nouveau dans l'espace. Ce sera la portion de lumière que ce corps peut transmettre sans altération. On doit aussi concevoir qu'un certain nombre de rayons rencontrent les groupes mêmes qui forment la substance des corps, et sont contraints de les traverser. Dans ce cas, à leur incidence sur la première surface de chaque groupe, ils y éprouveront d'abord une réflexion partielle; mais l'effet en pourra être très faible et presque insensible, si le groupe est fort mince, comme nous l'avons supposé. Lorsque les molécules qui ont pénétré le groupe arriveront à la seconde surface, il y en aura parmi elles qui se trouveront disposées à être réfléchies et d'autres à être transmises. Celles qui subiront réellement la réflexion for-

Digitized by Google

meront la couleur propre du groupe; elle sera la même sous toutes les incidences, si le pouvoir réfringent du groupe est très énergique, ce qui n'empêche pas que celui du corps entier ne puisse être très faible, et si le groupe ne peut être traversé que par son centre de gravité. La portion de lumière qui a traversé un premier groupe, en échappant à la réflexion de sa seconde surface, continuera de se transmettre jusqu'à ce qu'elle en rencontre un autre qui produise sur elle des effets pareils, c'est-à-dire qui réfléchisse une partie du reste; et ainsi de suite, de groupe en groupe jusqu'à ce que l'ensemble des rayons qui, dans la lumière incidente, étaient propres à composer la couleur propre du corps, soit complétement épuisé. La somme de ces réflexions composera donc la couleur totale du corps entier, laquelle ira ainsi en croissant d'intensité avec l'épaisseur, tant que les groupes qui reçoivent les derniers la lumière auront quelque chose à réfléchir.

» Considérons maintenant la portion de lumière qui, échappée à toutes les forces réfléchissantes des groupes successifs, se transmet à travers l'épaisseur entière du corps. Si elle contenait tous les rayons non réfléchis par les groupes, elle serait complémentaire de leur couleur; sa teinte serait seulement affaiblie par la portion de lumière blanche qui peut traverser le corps en serpentant parmi les groupes sans se décomposer. Mais cette opposition exacte ne s'observe jamais rigoureusement dans aucun corps; il y a toujours une certaine portion de lumière colorée qui ne se trouve ni dans la couleur réfléchie ni dans la couleur transmise, et qui en conséquence est absorbée par le corps, ou éteinte dans sa substance. Par exemple, l'or réduit en feuilles très minces est jaune lorsqu'on le voit par réflexion, et vert lorsqu'on le regarde par transmission; pourtant, dans les anneaux réfléchis, il n'y a point de jaune qui ait pour complément du vert. La couleur transmise devrait être bleue; mais si de ce bleu on ôtait un certain nombre de rayons violets et bleus que l'or absorberait dans la substance, il resterait du vert. Ici le progrès de l'absorption est très rapide, à cause de la grande densité de la substance; dans d'autres cas elle est plus lente et ordinairement graduelle. Alors, en faisant varier l'épaisseur du corps par une progression insensible, on voit la lumière transmise changer successivement de teinte, perdant d'abord une certaine espèce de rayons, puis une seconde, une troisième, jusqu'à ce qu'enfin son intensité devenant trop faible pour être aperçue, le corps paraît tout-à-fait opaque. L'ordre suivant lequel cette déperdition successive s'opère est déterminé pour chaque substance, mais il varie dans les substances diverses. Par

Digitized by Google

exemple, si l'on verse dans un verre conique une dissolution de certains bois colorés, et qu'en l'exposant à la lumière des nuées on la regarde par réflexion, elle paraîtra bleue; mais si on la regarde par transmission, elle paraîtra jaune dans le bas du verre, orangée un peu plus haut, et enfin rouge dans les parties où l'épaisseur traversée par les rayons est plus grande. Dans ce cas, les rayons violets et bleus sont très abondamment réfléchis par la liqueur, puisque les plus petites gouttes de la liqueur paraissent de cette teinte: ces rayons pénétreront donc à peine le liquide; mais les rayons verts y entreront plus facilement, et encore plus les jaunes, les orangés, les rouges, toutes lesquelles couleurs prises ensemble composeront le jaune pâle que l'on observe par transmission dans le fond du verre, où l'épaisseur est plus petite. Un peu plus haut, c'est-à-dire à travers une épaisseur plus forte, les rayons verts seront aussi absorbés, et le reste composera un orangé.

» Enfin à une épaisseur plus grande encore, les jaunes seront absorbés à leur tour, puis les orangés, et enfin les rouges si l'épaisseur est suffisante; d'où résulterait successivement l'orangé transmis, et ensuite un rouge graduellement de plus en plus sombre jusqu'à ce qu'il se transforme en opacité.

» On voit par cette théorie qu'il peut exister des corps qui paraissent de même couleur par transmission et par réflexion; car il suffit pour cela que l'espèce de lumière qu'ils réfléchissent en plus grande abondance soit aussi celle qui les traverse plus aisément; et il paraît qu'un grand nombre de liqueurs rouges offrent cette particularité; on l'observe aussi dans certains verres rouges. Il résulte encore de ces principes que si l'on fait successivement passer le même faisceau lumineux à travers deux liquides, dont le second réfléchit la portion que le premier a transmise; on doit obtenir une complète opacité; et c'est ce que Hook a observé le premier avec surprise, ayant placé l'un derrière l'autre deux prismes égaux et opposés, dont l'un était rempli d'une liqueur rouge, et l'autre d'une liqueur bleue, toutes deux d'une teinte très chargée.

» N'est-ce pas une grande induction, ajoute M. Biot, en faveur de cette théorie, que de voir tous les effets des particules insensibles dont les corps se composent exactement assimilées à ceux que nous observons dans les lames minces, sur une échelle assez grande pour pouvoir en mesurer tous les détails? Ce qui semble la confirmer encore, c'est que pour tous les corps solides ou liquides que l'on a pu réduire à de telles lames minces, l'ordre et la succession des couleurs se sont toujours retrouvées pareilles, indépendamment de l'affinité. Il y a toujours sept ordres d'anneaux sensiblement dis-

Digitized by Google

tincts ; après quoi le mélange se confond avec une blancheur uniforme. Le passage des premières teintes aux dernières se fait toujours par les mêmes gradations d'épaisseur, quelle que soit la nature chimique des substances réfléchissantes, que ce soit de l'eau, ou de l'huile, ou du métal ou du verre. Les couleurs produites dans tous les cas sont si exactement les mêmes, que personne ne saurait les distinguer. Quelles analogies pour penser que les mêmes lois s'étendent aussi à la réflexion opérée dans les groupes matériels qui composent les corps !

» Ce qui est non moins étonnant encore, c'est que lorsqu'un corps change graduellement de couleur, par l'effet d'une action chimique quelconque, assez lente pour qu'on en puisse observer les diverses périodes, les teintes par lesquelles il passe suivent toujours exactement l'ordre assigné par la table de Newton. Cette loi s'observe dans presque tous les degrés de la végétation. Newton a remarqué que le vert vif des plantes appartient au troisième ordre ; si ce vert vient à passer au rouge, il descendra nécessairement dans l'ordre des anneaux ; et par conséquent, suivant la théorie de Newton, cela ne pourra se faire sans que la couleur de la feuille passe successivement par le jaune, l'orangé, et l'orangé rougeâtre : or, c'est précisément ce qui arrive aux feuilles des plantes lorsqu'elles se flétrissent, comme Newton l'a bien observé. — M. Biot a voir, en examinant les variations des teintes d'un grand nombre cru de feuilles et de fleurs dans les diverses périodes de leur végétation, que tant que la force végétative se développe, les couleurs montent dans l'ordre des anneaux, et qu'au contraire quand cette force s'affaiblit, elles descendent. Ainsi les jeunes pousses du chêne et du peuplier sont d'abord d'un rouge tirant sur l'orangé ; de là elles passent à un orangé rougeâtre, et bientôt au vert, en passant par une sorte de jaune rougeâtre extrêmement fugitif : or, c'est aussi là précisément le progrès des nuances que l'on observe dans les anneaux, quand on remonte du rouge au vert du troisième ordre. Quand la fleur du chèvrefeuille s'épanouit, sa couleur est un blanc pur du premier ordre ; à mesure qu'elle se fane, elle passe au jaune pâle, au jaune, à l'orangé et à l'orangé foncé. Telle est, en effet, la marche des teintes en descendant le premier ordre de la table de Newton. La fleur du *geranium sanguineum*, dont la couleur est un rouge violacé, intermédiaire entre le premier et le second ordre, devient bleue en se fanant après qu'on l'a coupée. Des œillets d'un rouge si vif qu'on avait peine à en soutenir la vue, et qui était par conséquent du second ordre, sont descendus au rouge-ponceau et au pourpre violacé. La *tigridia*, cette belle fleur qui se développe

Digitized by Google

et se flétrit en quelques heures, paraît, lorsqu'elle n'est pas très ouverte, d'un orangé rougeâtre très vif; de là elle descend au rouge mordoré du premier ordre, et enfin, en se flétrissant, elle passe au rouge violacé du second, toujours en suivant la marche des anneaux.

» Les mêmes périodes s'observent dans les combinaisons chimiques lorsqu'elles s'opèrent avec assez de lenteur pour qu'on puisse saisir les nuances successives de leur coloration. La teinture de tournesol, lorsqu'elle a été longtemps enfermée dans un flacon bouché, devient souvent orangée; ouvrez le flacon, et agitez la liqueur pour la combiner avec l'oxigène de l'air; en peu d'instants elle passe au rouge, puis au bleu violacé, c'est-à-dire du premier ordre au second. Quand la combinaison solide d'oxide de manganèse et de potasse se dissout lentement dans une petite quantité d'eau, elle change successivement de couleur en passant du vert au vert bleuâtre, au bleu, au pourpre, et à un pourpre rouge, c'est-à-dire que sa teinte monte dans l'ordre des anneaux, comme si les particules devenaient plus minces.

» En mêlant, comme l'indique M. Gautier de Claubry, de l'huile d'amandes douces avec l'amidon et de l'acide sulfurique, on obtient une combinaison d'abord jaune, qui bientôt passe au jaune orangé, à l'orangé foncé, et de là au rouge et au violet; ce qui est précisément la série des couleurs des anneaux, en allant du premier ordre au second. Dans le passage de l'orangé au rouge, il arrive un moment où l'absorption des rayons incidents devient si forte, que le mélange paraît presque noir. M. Biot remarque, à cette occasion, qu'il faut toujours soigneusement distinguer les périodes de l'intensité avec la marche des teintes; car ces deux classes de phénomènes sont absolument indépendantes l'une de l'autre et suivent des lois toutes différentes; au point que quelquefois, comme nous venons de le voir, la série des teintes est brusquement interrompue par une absorption totale de lumière, qui rend l'intensité nulle et fait passer sensiblement la couleur au noir.

» Les mêmes périodes de coloration s'observent encore dans toutes les substances réduites par la précipitation en poudres très fines, ou en lames très minces, dont l'épaisseur varie lentement, soit par l'addition de nouvelles couches de même nature, soit plus simplement encore par une expansion momentanée : c'est ce qui arrive, par exemple, pour les oxides métalliques, qui changent momentanément de couleur lorsqu'on les chauffe, et qui reprennent leur teinte primitive par le refroidissement : ces changements ont

Digitized by Google

toujours lieu dans l'ordre des anneaux. On observe le phénomène inverse quand on volatilise de l'indigo pur, étendu sur du papier ; car, en se vaporisant, il passe à un rouge-ponceau très vif ; ce qui indique que les groupes matériels qui le composent s'amincissent, et peut-être se subdivisent dans l'acte de la vaporisation. L'hématine, lorsqu'elle est pure et solide, a une teinte grisâtre dont il est difficile d'assigner la place, à cause de l'aspect des petites particules qui la composent, et qui peut-être répandent sur elle cette couleur grise par la quantité de lumière blanche qu'elles renvoient directement par une première réflexion. Dissoute dans l'eau à laquelle on a ajouté quelques atomes d'acide acétique, l'hématine produit une liqueur dont la teinte est un jaune du second ordre légèrement verdâtre. Si l'on introduit cette liqueur sous un tube rempli de mercure, et qu'on le chauffe par dehors, elle devient successivement jaune, orangé brillant, rouge brillant, rouge ponceau, pourpre, enfin pourpre très chargé de bleu ; et, ce qui est bien remarquable, si on la laisse ensuite se refroidir, elle revient peu à peu à la première teinte ; mais il lui faut pour cela un certain temps, par exemple quelques jours, si l'on fait l'expérience sur un volume d'environ un demi-centilitre. Quand on a formé à chaud une dissolution saturée de chlorate de potasse, et qu'on la laisse refroidir avec lenteur ; à mesure que la température baisse, le sel se précipite en paillettes rectangulaires très minces qui s'apposent et s'unissent les uns aux autres. Or, leur minceur est d'abord telle qu'elles paraissent colorées, et colorées diversement, selon l'incidence où on les regarde et l'épaisseur où elles sont parvenues. Les plus épaisses sont déjà d'un blanc uniforme ; les plus minces, en s'unissant les unes aux autres, deviennent blanches à leur tour ; quelquefois elles ne s'appliquent pas exactement les unes sur les autres, alors elles ne cessent pas de réfléchir leur propre teinte, même quand elles font partie d'une lame beaucoup trop épaisse pour donner des couleurs. Leurs couleurs varient avec l'incidence, mais toujours selon l'ordre des anneaux.

» Si l'on fait attention que, dans tous les cas que nous avons rapportés, les teintes par lesquelles les substances passent ne sont jamais simples, mais composées, et composées comme celles des anneaux ; qu'elles varient précisément par les mêmes gradations et les mêmes périodes, on reconnaîtra qu'il y a une analogie extrêmement forte, si ce n'est une identité évidente, entre les couleurs propres des corps et celles que les lames minces réfléchissent à leur seconde surface ; on concevra que la seule différence de grosseur et

Digitized by Google

de force réfringente par lesquelles les molécules passent dans leurs dilatations, leurs condensations ou leurs combinaisons diverses, suffit pour produire tous les changements.

» Cette analogie se manifeste également par d'autres caractères dans tous les cas où on peut l'éprouver. Nous avons reconnu que les couleurs des lames minces ne dépendent que de la nature et de l'épaisseur de la plaque, mais nullement du milieu qui l'environne, lequel influe seulement sur l'intensité de la teinte réfléchie. Si donc les couleurs permanentes des corps dépendent de la même cause que celle des plaques minces, l'espèce de leur teinte ne doit pas changer quand on les environnera d'un milieu quelconque, qui n'aura pas assez d'action sur elle pour les décomposer et changer leurs dimensions. Cela s'observe, en effet, lorsque les soies, les draps, ou d'autres substances sont imbibées d'eau ou d'huile. Leurs couleurs deviennent seulement plus sombres, mais ne changent pas de nature, et elles reprennent leur vivacité lorsqu'on a fait évaporer par la chaleur le fluide interposé. La même chose arrive à l'indigo ou au carmin dissous dans l'eau. Quelque étendue que soit la dissolution, la nature de la couleur ne varie pas, son intensité seule est différente ; parce que l'eau, en écartant les groupes matériels sans désunir leurs parties constituantes, diminue la quantité de lumière colorée réfléchie dans une épaisseur assignée.

» L'idée de ramener les couleurs permanentes des corps au principe des couleurs des lames minces, en les faisant dépendre de la grosseur et de la force réfringente des groupes matériels qui les composent, est donc tout-à-fait conforme aux analogies, conclut M. Biot; et quand on vient à considérer que cette théorie explique parfaitement toutes les apparences de coloration que les corps présentent, sans avoir besoin de supposer une seule propriété nouvelle de la matière, on ne peut guère douter qu'elle ne soit vraie. En l'adoptant, on est conduit à voir que les couleurs des corps opaques sont toutes composées, puisque la quantité de lumière renvoyée par le corps est réellement le produit des deux réflexions intérieure et extérieure. Sans cela on ne concevrait pas comment les corps, quels qu'ils soient, paraissent toujours entièrement de la couleur des rayons dans lesquels on les plonge, alors même que ces rayons ne contiennent aucune des couleurs que le corps réfléchit. S'il est encore visible alors, c'est, dit M. Biot, en vertu de la réflexion intérieure qui s'exerce indifféremment sur tous les rayons à sa première surface. Ce qu'il y a de certain au moins, c'est que la couleur de chaque corps est la plus brillante lorsqu'on l'expose à l'espèce de rayons simples qui dominent dans sa cou-

Digitized by Google

leur, qu'elle est la plus faible quand ces rayons lui sont plus étrangers.

» En admettant comme véritable la théorie précédente, on peut déterminer la grosseur des particules colorées des corps, quand on connaît l'espèce de teinte qu'ils réfléchissent et le rapport de réfraction pour les rayons qui y pénètrent ; le calcul est exactement le même que pour déterminer l'épaisseur des lames minces. La difficulté est de savoir à quel ordre on doit rapporter une couleur observée.

» Pour la production du noir, les corpuscules doivent être plus petits qu'aucun de ceux qui produisent d'autres couleurs, car toutes les molécules plus grosses réfléchissent trop la lumière pour former le noir. On peut comprendre par là pourquoi de petites quantités de corps noirs communiquent leur couleur aisément et jusqu'à un fort grand degré à d'autres corps auxquels on les applique, les petites parcelles de ces corps noirs se répandant sans peine, à cause de leur grand nombre, sur les particules grossières des autres corps ; pourquoi les corps noirs sont plus tôt échauffés, ce qui peut venir en partie du grand nombre de réfractions faites dans un petit espace, et en partie de l'ébranlement qui est facilement excité dans de si petites parties ; et pourquoi les corps noirs tirent ordinairement un peu sur le bleuâtre, de quoi l'on peut s'assurer en faisant tomber sur du papier blanc une lumière réfléchie par des corps noirs ; car, pour l'ordinaire, le papier paraîtra d'un blanc bleuâtre ; et la raison, c'est que le noir confine au bleu-obscur du premier ordre, et réfléchit par conséquent plus de rayons de cette couleur que d'aucune autre.

» On sait, depuis les expériences de M. Thénard, que le même morceau solide de phosphore peut être rendu, à volonté, successivement jaune ou noir, transparent ou opaque. Cette observation montre de la manière la plus palpable que la transparence ou l'opacité, la coloration ou la privation de toute couleur, ne sont que des modifications résultantes de l'arrangement et des dimensions des groupes matériels dont les corps se composent. »

Voilà donc la théorie des couleurs de Newton exposée par M. Biot ; nous ne nous étendrons pas à la réfuter en détail, nous ne relèverons même pas certaines particularités inadmissibles, et même des contradictions évidentes, par exemple : 1° ces groupes qui ne pourraient être traversés que par leur centre de gravité ; 2° ces rayons qui passent plus facilement à travers les pores qui séparent les groupes que par les groupes eux-mêmes, quoique, dans les idées de Newton, les *groupes soient parfaitement diaphanes, et*

Digitized by Google

également perméables à la lumière de tous les degrés de réfrangibilité, quoique le pouvoir réfringent des groupes soit beaucoup plus énergique que celui du milieu ou des milieux qui les séparent; 4° ces condensations et ces dilatations des groupes inconciliables avec le postulatum de Newton : *les particules solides d'un milieu ont une grandeur... propre... qui leur convient uniquement... Cette grandeur ne peut-être changée par une action mécanique, ou par aucune autre voie qui n'entraîne pas un changement dans la nature chimique du milieu;* 5° le rapprochement des couleurs des corps avec celles des lamelles de chlorate ou de tartrate de potasse, quoique ces dernières couleurs varient très rapidement avec l'incidence, et ne soient nullement la couleur propre de ces deux sels; quoique ces couleurs soient même la négation de la couleur propre et changent d'une lamelle à l'autre. Cette dernière réflexion enlève à elle seule toute probabilité à l'hypothèse développée par M. Biot : les couleurs permanentes des corps sont essentielles, invariables avec l'incidence; les couleurs des lames minces sont accidentelles, variables avec l'incidence; donc les deux sortes de couleurs ne peuvent sans paralogisme être confondues.

M. Brewster a attaqué directement cette prétendue théorie dans sa base, et l'a renversée sans peine. Sa réfutation consiste à prouver que les couleurs des corps ne peuvent en aucune manière être classées dans les ordres de couleurs de Newton, et que par conséquent elles n'ont aucune relation avec les couleurs des lames minces. La couleur analysée avec le plus de détails par M. Brewster est le vert des végétaux. Son choix était basé sur les motifs suivants : la couleur verte des plantes est la plus répandue dans la nature; c'est la couleur dont Newton a le plus distinctement décrit la nature et la composition; enfin sa composition est presque identiquement la même dans toutes les variétés de plantes où elle se montre. De l'examen approfondi de cette couleur, de la détermination exacte de sa composition, M. Brewster conclut que, soit qu'on l'examine dans son premier developpement, ou lorsque sa teinte commence à se faner, elle n'a aucune relation avec les couleurs des lames minces.

L'auteur a soumis au même mode d'analyse environ 150 milieux colorés, consistant en fluides extraits des pétales des feuilles, des semences et des écorces d'arbre, de différentes substances employées dans la teinture, de minéraux, de sels artificiels et de différents gaz colorés. Dans tous ces cas, il obtint des résultats qui prouvent que leurs couleurs ne sont pas celles des lames minces.

Des expériences décrites dans son mémoire, M. Brewster con-

Digitized by Google

clut que la seconde proposition de la théorie de Newton est incompatible avec les phénomènes observés ; qu'il n'est pas sûr que les parties transparentes des corps, selon leurs différentes grosseurs, réfléchissent les rayons d'une couleur et transmettent ceux d'une autre, d'après le même mode que leurs lames minces ou aspérités réfléchissent et transmettent ces rayons.

M. Brewster déduit encore de ses expériences l'inexactitude de la première proposition, en établissant qu'il a trouvé des milieux rouges, jaunes, verts et bleus, qui sont absolument incapables de réfléchir ou de transmettre certains rayons définis de la même couleur jaune.

D'une longue étude sur les couleurs des corps qu'il a développée dans trois mémoires insérés dans les *Annales de chimie*, M. Hassenfratz a conclu que s'il est vrai que quelques couleurs permanentes, celles des corps transparents qui réfractent et réfléchissent deux couleurs complémentaires, peuvent être expliquées par la théorie des lames minces, toutes les autres couleurs permanentes, soit que les corps en produisent une seule, soit qu'ils en produisent plusieurs, exigent pour leur explication le double effet de la propriété réfléchissante des atomes et de l'affinité des particules ; la seule considération des molécules considérées comme lames minces serait insuffisante. Du reste, M. Hassenfratz reproche aux partisans de la théorie de Newton d'avoir méconnu que l'immortel physicien avait nettement distingué deux sortes d'effets à l'aide desquels il a expliqué toutes les couleurs, savoir, la propriété des molécules lumineuses, que M. Biot met seules en jeu, et l'affinité des particules pour la lumière. La théorie de Newton, en tant qu'elle se compose de ces deux effets, expliquerait parfaitement, et complétement, suivant M. Hassenfratz, toutes les espèces de colorations observées jusqu'à présent. Cette expression, *affinité des particules des corps pour la lumière*, est bien vague ; on peut lui faire dire ce que l'on veut ; il se pourrait donc qu'elle renfermât la vraie théorie des couleurs.

Un observateur très intelligent, M. le comte de Maistre, a émis sur la théorie que nous réfutons le jugement suivant :

« Il est impossible d'expliquer par la théorie des lames minces, ou de la grosseur des particules, les différents phénomènes de colorisation. On sait que dans les étoffes teintes et dans les fleurs, les couleurs transmises sont les mêmes que celles qui sont réfléchies. Ce fait incontestable est directement contraire à celui qui résulterait des lames minces, qui transmettent toujours les couleurs complémentaires de celles qui sont réfléchies. Suivant cette théo-

Digitized by Google

rie, un pétale rouge serait vert par transmission; une étoffe jaune transmettrait une couleur bleue. Cette identité de couleurs réfléchies et transmises n'est pas un phénomène isolé, une anomalie; il est général, il comprend les pétales des fleurs de toute espèce, les feuilles vertes des végétaux, les étoffes teintes de toutes couleurs, toutes les matières colorantes employées dans les peintures, les liqueurs enfin, et les verres colorés. On s'assure encore qu'un pétale coloré quelconque, serré entre deux glaces, perd la couleur de réflexion, tandis que la couleur transmise garde toute sa beauté. Il faudrait donc admettre des particules minces qui ne réfléchissent aucune couleur, et qui en transmettent une très vive; phénomène qui n'existe pas dans les anneaux colorés.

» Quelques physiciens, pressés par ces difficultés, ont supposé que les corps colorés transparents étaient composés de particules opaques colorées d'une extrême ténuité, placées à des intervalles assez grands pour transmettre une partie de la lumière blanche et conserver la transparence. Ces particules opaques réfléchiraient de l'une à l'autre la couleur par leurs facettes inclinées, et la transmettraient ainsi mêlées à la lumière blanche directe. Mais on n'explique pas dans ce système pourquoi ces particules transmettent la couleur et ne la réfléchissent pas; on n'explique pas mieux comment des particules opaques peuvent être colorées. Tous les corps colorés, les métaux exceptés, né réfléchissent que la lumière blanche à leur première surface; la difficulté est donc reculée, au lieu d'être résolue.

Dans le système des lames, on attribue la blancheur des métaux à la grosseur des particules qui forment le blanc du premier ordre des anneaux. On peut observer à ce sujet que des substances transparentes, comme la nacre et certains micas, ont exactement l'éclat métallique, et réfléchissent autant de lumière que l'argent par la simple superposition de leurs lames, qui, prises à part, n'ont qu'une réflexion très inférieure. Ici le nombre des réflexions partielles produit le même effet que la densité des métaux. L'éclat métallique n'est donc autre chose qu'une réflexion très vive produite par leur densité supérieure à celle de tous les autres corps.

» La théorie de Newton n'a donc pour elle que l'étonnante analogie qui existe entre les changements spontanés des couleurs, et l'ordre constant qu'on observe dans les anneaux colorés. Mais la modification de la force absorbante ne pourrait-elle pas produire des résultats semblables? On peut proposer à ce sujet quelques conjectures qui ne paraissent pas sans probabilité. Tout le monde connaît l'expérience si souvent citée des liqueurs jaunes,

Digitized by Google

placées dans un vase conique qui transmettent à diverses épaisseurs des couleurs dans l'ordre des anneaux. Le même effet a lieu lorsqu'on remplace la liqueur jaune par une dissolution de matière végétale torréfiée, comme le café. On observe dans la partie la plus mince du cône que la couleur transmise est jaune ; puis, en remontant à de plus grandes épaisseurs, la couleur passe à l'orangé et au rouge. Ce fait paraît une preuve que les changements qui ont lieu dans l'intensité de la force absorbante du carbone peuvent produire des couleurs dans l'ordre des anneaux, comme ceux que l'on observe dans les feuilles de certains végétaux, lorsqu'elles se décomposent, qu'elles passent du vert au jaune, à l'orangé et au rouge, à mesure que la force augmente par le développement du carbone.

» Il ne serait donc pas contre toute probabilité que lorsque, par une action chimique quelconque, la propriété que possèdent les colorants d'absorber certains rayons, éprouve des changements successifs, et que cette force absorbante augmente ou diminue, elle puisse intercepter ou transmettre les rayons suivant l'ordre de leur réfrangibilité, comme on l'a vu dans la dissolution du café torréfié ; ce qui expliquerait par l'affinité les changements de couleur qu'on attribue à la grosseur des particules.

» Un fait remarquable vient à l'appui de cette conjecture. Les changements de couleur qu'éprouvent les végétaux, et généralement tous ceux qui sont produits par une cause chimique quelconque, ne dépassent jamais le cercle de la série des couleurs du spectre. On voit les couleurs passer du centre aux extrémités, et des extrémités au centre, et le vert est comme une barrière que ces changements peuvent atteindre, mais qu'ils ne dépassent jamais. On ne saurait expliquer ce fait par les changements successifs de grosseur dans les particules des corps ; mais il s'explique tout naturellement par l'absorption successive des rayons. Suivant cette dernière théorie, une couleur ne peut être produite que par l'absorption d'un ou de plusieurs rayons complémentaires : ainsi, lorsque les rayons d'une moitié de spectre ont été successivement transmis, cela n'a pu avoir lieu que par l'absorption successive de l'autre moitié, lesquels ne peuvent plus, par conséquent, reparaître. Ces changements doivent donc, en général, s'arrêter au centre de la série que présente le spectre solaire.

» Ces observations sont loin d'expliquer les changements spontanés dans leurs détails, mais elles suffisent pour faire voir qu'il existe une analogie frappante entre la force de réfraction qui produit les couleurs des anneaux, et la force d'absorption qui est la

Digitized by Google

cause des couleurs permanentes, et pour faire présumer qu'un changement progressif dans cette dernière peut étendre ou transmettre les rayons homogènes suivant l'ordre de leur réfrangibilité.

» Une observation intéressante de M. Brongniart vient à l'appui de cette idée. Ce savant observe que toutes les couleurs permanentes ont pour base une substance combustible, et qu'en voyant un corps coloré quelconque, on peut affirmer d'avance qu'il contient un métal ou du carbone, ou du soufre : or, l'on sait que les substances combustibles jouissent d'une force de réfraction supérieure à celle de tous les autres corps, comme elles sont aussi les seules qui produisent l'absorption de la lumière dans les corps noircis. Le diamant, qui est éminemment réfringent, et le carbone, qui absorbe la lumière, sont la même substance.

» Il est donc très probable que la propriété qui produit la réfraction dans les corps, et celle qui produit l'absorption, sont de même nature, et qu'on trouvera de nouveaux rapports entre elles lorsqu'on étudiera plus soigneusement les phénomènes de l'absorption. »

On peut conclure de ce qui précède que M. de Maistre rattache le phénomène des couleurs permanentes des corps à l'absorption : c'est aussi l'opinion de M. Brewster. Mais ce mot absorption a besoin d'être clairement défini. Le phénomène qu'il désigne, loin d'être la cause des couleurs, en est plutôt l'expression sous une autre forme ; c'est, de part et d'autre, le même effet d'une même cause, mais envisagé sous différents points de vue.

Nous reviendrons bientôt sur ce sujet, après que nous aurons rappelé la théorie de l'éclat si bien développée par M. Œrsted dans une dissertation que la *Revue* a reproduite, après que nous aurons exposé d'abord les vues ingénieuses de Benedict Prevost sur le mode d'émission de la lumière qui nous fait juger de la couleur propre des corps, puis la théorie d'Euler, si simple et que nous croyons si vraie.

Nous retrouverons à chaque pas dans cet exposé des réfutations nouvelles de la théorie qui attribue les couleurs à une vraie réflexion, à une réflexion régulière semblable à celle qui produit les anneaux colorés. On conçoit à peine qu'elle ait pu trouver tant de partisans ; car tout le monde sait que la couleur propre des corps est d'autant moins visible, d'autant moins sensible, que la réflexion régulière à leur surface est plus grande, et que cette couleur propre ne se montre réellement telle qu'elle est en elle-même que lorsque l'on parvient à faire disparaître toute trace de réflexions régulières. Nous avons vu comment M. Œrsted a fait ressortir cette vérité ; avant lui déjà, Bénédict Prevost l'avait rendue peut-être plus sensible encore.

Digitized by Google

Opinion de Bénédict Prevost.

« Lorsqu'un corps opaque, éclairé par la lumière ordinaire du jour, paraît coloré, rouge, par exemple, comme le cuivre, on dit, dans l'hypothèse d'un fluide subtil, cause occasionnelle des sensations que nous nommons lumière ou couleur, que les divers rayons qui composent la lumière blanche sont tous, à l'exception des rouges, *absorbés* par le corps, tandis que ces derniers sont seuls *réfléchis.*

» Je me sers de ces expressions, lumière blanche, rouge, jaune, etc., parce qu'elles sont reçues, bien que je les trouve très inexactes. Telle lumière occasionne en nous la sensation de blancheur ou de blanc, telle autre celle de rouge, de bleu, etc. Si nous disons, à cause de cela, que ces lumières sont blanches, rouges, jaunes, etc., nous exprimons de la même manière deux choses très différentes; car nous disons aussi qu'un corps est blanc, rouge, bleu, etc., pour dire qu'il envoie dans nos yeux une lumière qui y produit les sensations que nous appelons blanc, rouge, bleu, etc.

» On dit aussi, par un abus semblable, voir la lumière; mais il est évident qu'on ne voit pas la lumière, quoiqu'elle soit la cause que nous voyons.

» C'est encore abusivement qu'on appelle lumière deux choses très différentes: une sensation, et la cause occasionnelle de cette sensation. Il est vrai qu'au lieu de lumière, on dit quelquefois fluide lumineux. Mais ne serait-il pas plus convenable et plus commode d'exprimer chacune de ces idées par un seul mot; de dire, par exemple, le lumérique ou le luminique et la lumière, comme on dit le calorique et la chaleur?

» Il y a des circonstances où le mot lumière est employé exlusivement pour la cause; comme quand on parle de sa vitesse, ou de son action sur certaines substances. D'ailleurs on ne peut pas dire que la lumière, cause, soit un fluide lumineux, au moins sans amphibologie; car nous disons d'un corps qu'il est lumineux, lorsque nous supposons qu'il en sort de la lumière, ou du fluide lumineux. On peut penser, à la vérité, qu'il ne saurait y avoir d'équivoque, et qu'il en est de cette expression comme de tant d'autres dont la place détermine toujours exactement l'acception; mais, à la manière dont on s'en sert quelquefois, il semble qu'on s'y méprenne.

» Je crois que c'est une erreur, ou du moins, qu'il n'est pas exact

Digitized by Google

d'employer le mot réfléchi dans cette acception. La lumière rouge, dans ce cas, n'est pas réfléchie; elle rayonne en tous sens de chaque point de la surface du corps.

» La lumière blanche arrive au corps, ou très près de ce corps; une partie, subissant une vraie réflexion sans se décomposer, s'éloigne ensuite du corps, en suivant une direction qui fait, avec sa surface, un angle égal à l'angle d'incidence.

» Le reste pénètre plus ou moins dans l'intérieur, où certains rayons sont retenus en vertu de leur affinité pour sa substance; les autres ressortent en divergeant de chaque point de sa surface, et constituent sa couleur: rouge pour le cuivre, jaune pour l'or, etc.

« Mais comme la profondeur à laquelle ils ont pénétré, quelque petite qu'elle puisse être, n'est cependant jamais nulle, celle d'où ils ressortent ne l'est jamais non plus rigoureusement.

» Ainsi aucun de ces rayons émergents non réfléchis ne suit, en s'éloignant du corps, une direction rigoureusement parallèle à la surface, ni même aussi rapprochée de cette direction que le peuvent faire quelquefois les rayons véritablement réfléchis.

» Si toute la lumière qui n'est pas retenue ou éteinte par le corps, si celle qui constitue la couleur propre du corps, subissait à la surface, ou même, comme on l'entend ordinairement, avant d'y arriver, une vraie réflexion, les rayons très obliques ou parallèles de cette couleur seraient beaucoup plus nombreux que les rayons perpendiculaires ou peu inclinés, et les images des objets vus très obliquement dans ces miroirs seraient plus colorées de la couleur propre du corps que celles qui y seraient vues perpendiculairement; et il arrive tout le contraire.

» Car, soit A B une plaque d'or polie, ou miroir d'or, et soit en C, proche du miroir, un objet blanc, ou à peu près, d'argent par exemple, d'étain, d'acier, etc, etc.; l'œil, se trouvant en D dans la perpendiculaire à la surface ou dans une direction peu inclinée à cette perpendiculaire, l'image rapportée en C, au-dessous de A B, paraîtra dorée et à peu près de la couleur même de l'or; tandis que si l'objet est en G et l'œil en H, tous deux dans l'horizontale G H parallèle à A B ou à peu près, à dix ou douze pouces l'un de l'autre (le jour doit venir de I derrière l'observateur; l'œil H et l'objet G sont très près du plan du miroir), l'image sera en tout et en particulier, quant à la teinte, parfaitement semblable à l'objet, sans aucune nuance de jaune.

» Je veux dire sans aucune nuance qui provienne d'une réflexion immédiate; car, si l'objet est placé sur la plaque même, ou qu'il en soit très proche, il réfléchira sur la plaque, ainsi qu'à

Digitized by Google

l'œil, la lumière jaune qu'il en reçoit par rayonnement, et la plaque la réfléchira à l'œil, de manière que la partie supérieure de l'image, ainsi que l'inférieure de l'objet, paraîtra dorée.

» Lors donc que la lumière blanche éclaire l'or, une partie pénètre, est décomposée, et tous les rayons sont retenus, excepté les jaunes qui rayonnent; mais lorsque ces mêmes rayons (jaunes d'or) arrivent isolément sur l'or, ils ne pénètrent point, et subissent une réflexion proprement dite : c'est ce que confirment les faits suivants : l'image d'un morceau d'or, vue dans un miroir du même métal, est d'une teinte beaucoup plus foncée que l'objet même.

» Une plaque d'or polie, éclairée par la lumière du jour, rayonne, avons-nous dit, de la lumière jaune et réfléchit de la lumière blanche.

» Qu'on reçoive le tout sur une seconde plaque du même métal également polie, la lumière jaune en sera réfléchie, une partie de la blanche sera décomposée, et fournira par rayonnement de nouvelle lumière jaune qui, jointe à la première, augmentera son intensité; de sorte que l'image de la première plaque, donnée par la seconde, paraîtra beaucoup plus foncée, comme nous avons dit que cela arrive en effet.

» Cette image, réfléchie par la seconde plaque, en donnera une seconde, une troisième plus foncée encore, etc.

» Il est aisé de se procurer de cette manière une image du douzième ou treizième ordre d'un rouge orangé très foncé, qui probablement est la vraie couleur de l'or. Pour obtenir ces résultats d'une manière bien nette, il faut que les plaques soient proches l'une de l'autre, et fassent entre elles de petits angles plans, éclairés intérieurement par une lumière vive; on en approche d'autant plus que le nombre des réflexions successives augmente, parce qu'elle ne se trouve plus alors pâlie par la lumière blanche que la réflexion mêle toujours au rayonnement.

» Je m'attendais à ce résultat. On conçoit, en effet, que le jaune d'or, en se concentrant, pour ainsi dire, ou en se séparant du blanc, avec lequel il est mêlé, doit devenir orangé foncé; mais ce dont j'ai été assez surpris, c'est que la couleur du cuivre, obtenue de cette manière, se rapproche beaucoup de l'écarlate ou couleur de feu. Le cuivre et l'or donnent une couleur qui, peut-être, s'en rapproche encore davantage.

» Au reste, le cuivre dont je me suis servi pourrait n'être pas pur : ce sont des planches destinées à la gravure; et, quant à l'or, j'ai combiné le cuivre doré avec de l'or de bijoux, qui, je crois, est à 833 millièmes (20 karats).

Digitized by Google

» L'or et l'argent, le cuivre et l'argent, donnent des couleurs semblables à celles de l'or et de l'or, du cuivre et du cuivre, de l'or et du cuivre, dans les réflexions d'ordres inférieurs, sixièmes, septièmes ou huitièmes.

» L'argent sur l'argent donne une teinte jaunâtre de bronze. La vraie couleur de ce métal, quand il est très poli, lorsqu'elle a par conséquent tout l'éclat dont elle est susceptible, paraît dans cette expérience d'un très beau jaune, le même, ou peu s'en faut, qu'on a regardé jusqu'ici comme la couleur de l'or. Cela peut paraître étrange; mais il faut remarquer que ce métal n'est pas d'un blanc pur comme l'émail, par exemple, et qu'à force de réflexions successives, ce blanc se dissipe, et il ne reste à la fin que la couleur qui, mêlée au blanc, donne celle de l'argent.

» J'ai fait cette dernière expérience avec du cuivre argenté et de l'argent de bijoux, puis avec le même cuivre argenté et une petite plaque d'argent très pur.

» Je ne doute pas qu'en variant ces expériences avec d'autres métaux entre eux, ou avec des métaux et des verres colorés opaques, émaux, ou transparents, des bois ou autres substances cirées ou vernies, etc., on n'obtienne des résultats analogues et plus ou moins intéressants.

» L'étain et le fer-blanc donnent chacun à peu près la couleur non épurée du laiton; l'acier, celle du bronze, que m'avait d'abord donnée l'argent mal poli. Mais l'acier que j'ai essayé n'était pas beau, et ne présentait pas une surface polie assez étendue pour que j'en aie pu juger avec une certaine exactitude.

» Le laiton prend une riche couleur, d'un jaune beaucoup plus foncé que celui qu'on attribue ordinairement à l'or; mais il tire moins sur le rouge que ne le fait la vraie couleur de celui-ci.

» Les feuilles appelées clinquant, de cuivre écroui, argenté, parfaitement poli et verni à la colle, semblent ordinairement présenter les couleurs les plus éclatantes; mais cet éclat, provenant en très grande partie de la lumière blanche, n'est pas celui de la couleur du corps, qui devient incomparablement plus riche lorsqu'on la dépouille du voile qui ne lui permettait d'agir sur l'œil qu'après avoir perdu la majeure partie de son intensité colorante. On ne saurait se faire une idée de la beauté de ces couleurs épurées qu'après les avoir vues, surtout les rouges et les jaunes, ou celles qui avoisinent cette partie du spectre; car il me semble que les rouges, qui tiennent un peu du bleu, le perdent dans ces réflexions successives; de sorte, par exemple, qu'un clinquant pourpre devient écarlate, et c'est apparemment ce qui arrive au cuivre dont la cou-

Digitized by Google

leur ordinaire tire sur le rose, et qui paraît aussi dans l'expérience d'une belle couleur de feu.

» Je soupçonne que si les couleurs non épurées de plusieurs corps sont décomposables par le prisme, c'est à cause de la lumière blanche qui y est toujours mêlée dans les expériences ordinaires ; que c'est cette lumière qui se décompose et non celle qui seule fait paraître le corps coloré ; que la vraie couleur de l'or, par exemple, de l'argent, ou du cuivre, bien épurée, traverserait le prisme sans altération sensible, sauf celle qui pourrait provenir d'un faible reste de lumière blanche, dont il est peut-être impossible de la débarrasser tout-à-fait.

» Je ne suis pas à portée de faire cette expérience avec assez d'exactitude pour que l'on puisse compter sur ses résultats ; peut-être paraîtrait-elle assez importante, et trouverait-on qu'il vaut la peine de l'entreprendre, si elle était proposée par quelque physicien d'un nom un peu moins obscur que le mien.

» Je m'abstiens, pour abréger, de décrire plusieurs expériences que j'ai faites avec d'autres corps colorés, opaques ou transparents, parce qu'on les imaginera bien sans cela, et qu'on les exécutera aisément.

» Lorsque deux surfaces d'une même substance dont on cherche à reconnaître la véritable couleur ont peu d'étendue, au lieu de les tenir à la main, comme il est indiqué dans le mémoire, il vaut mieux les placer sur une feuille de papier noir, de manière que l'une semble faire exclusivement, par rapport à l'autre et à l'observateur, l'office de miroir, et se trouve dans un plan horizontal, tandis que la seconde fait avec ce plan un angle de huit ou dix degrés, ou moindre s'il est possible. On évite par là que les objets environnants ne mêlent leur couleur à celle que l'on veut obtenir. Du reste, il est facile de trouver, soit par le calcul, soit par le tâtonnement, les arrangements et les situations les plus convenables à la réussite de l'expérience ; il serait inutile d'entrer à cet égard dans des détails plus minutieux.

» Les physiciens qui répéteront ces expériences trouveront, si je ne me trompe, qu'il n'y a, dans le vrai, aucun métal blanc ni gris, et que tous ceux dont on a coutume de désigner la couleur par ces épithètes, même en ajoutant : avec une teinte bleuâtre, une teinte rougeâtre, etc., ont une couleur propre, vive et décidée, et que cette couleur est souvent rouge, orangée ou jaune, ou tenant de quelqu'une ou de quelques unes de leurs intermédiaires.

» Voici quelques phénomènes qui me paraissent dépendre de la même cause que ceux qui font l'objet de ce mémoire.

Digitized by Google

Premier phénomène.

» Un vase un peu profond de cuivre bien propre et bien poli paraît intérieurement d'un ton de couleur beaucoup plus riche qu'à l'extérieur. On en voit aisément la raison.

Deuxième phénomène.

» Un velours coloré paraît toujours plus foncé qu'une étoffe de soie de même couleur; c'est un effet tout semblable à celui dont nous venons de parler (premier phénomène).

Troisième phénomène.

» Le brillant des yeux du chat et de plusieurs autres animaux (1)

(1) « On avait regardé ce brillant comme une espèce de phosphorence. J'ai prouvé qu'il provient d'une lumière étrangère, réfléchie ou rayonnant du fond de l'œil de l'animal, comme de la surface d'un corps coloré. Aux preuves que j'en ai données (Bibl. Brit., année 1811), on peut ajouter les suivantes :

» 1° Le tapis détaché d'un œil de bœuf, lorsqu'on le place convenablement par rapport à l'observateur, brille de la même manière que l'œil de l'animal vivant dans les mêmes circonstances.

» 2° Qu'un chat ou un chien regarde une personne assise près d'une table sur laquelle est placée une bougie allumée, et de telle sorte que les yeux de l'animal se trouvant dans l'ombre ne soient éclairés que de la lumière réfléchie par les objets environnants; ces yeux paraissent à cette personne brillants comme de petits tisons embrasés; mais ils cessent de produire cet effet aussitôt qu'elle place la main entre la flamme et les objets qui, par leur situation, peuvent réfléchir sa lumière sur les yeux du chat. Ils brillent de nouveau dès qu'on retire la main, etc. Si cette personne a sur ses genoux une serviette étalée, bien blanche, et qu'elle soit d'ailleurs vêtue de noir, que les autres objets environnants soient de couleur obscure, les yeux du chat brillent beaucoup plus que si l'on plie la serviette et qu'on la rejette du côté opposé.

» Un physicien très distingué a cru que les parties réellement phosphorescentes, ou seulement d'apparence phosphorescente des animaux, brillaient le plus dans la dilatation de ces parties; mais les observations de Péron sur le pyrosome ne peuvent s'accorder avec cette opinion, quant à la phosphorescence réelle.

» Et, quant à l'apparente, voici ce que j'ai remarqué :

» Une chatte, qui nourrissait, était avec ses petits dans une caisse, fermée

Digitized by Google

dépend encore en partie d'une cause semblable; en effet, le tapis de l'œil de ces animaux est en quelque sorte velouté.

Quatrième phénomène.

» Je regardais une plaque d'étain poli rectangulaire, de quatre pouces sur trois placée horizontalement à quatre pieds de mes yeux, mesure prise dans une direction peu inclinée à la verticale; cette plaque, éclairée par une lampe à pompe ordinaire, de dix pouces de hauteur, située entre elle et moi, et dont je me cachais la flamme avec la main, me paraissait presque noire.

» Il semble cependant qu'une partie de la lumière blanche qui tombait presque verticalement sur l'étain, pénétrant dans cette substance, devait y être décomposée et rayonner à mes yeux ainsi que dans toute autre direction, de la lumière jaune. Mais celle-ci, dont je ne recevrais qu'une très petite partie, n'étant que le résultat d'un seule décomposition, devait être bien faible; d'ailleurs, encore que j'interceptasse la lumière directe de la lampe, mes yeux ne laissaient pas de recevoir une partie de celle que réfléchissaient les objets environnants : or, on sait qu'à la lumière d'une lampe les jaunes clairs paraissent blancs, etc.

» Ce qui me semble prouver que les choses se passent bien ainsi, c'est qu'une plaque de laiton précisément dans le même cas ne paraît pas tout-à-fait aussi noire. La différence est bien sensible, parce que la lumière jaune qu'elle envoie à l'œil, et qui devait paraître blanche, étant plus abondante, diminue davantage l'intensité du noir, sans pour cela donner en aucune manière la sensation du jaune; une plaque de cuivre rouge paraît brune, une plaque d'acier paraît noire comme du velours.

» On pourrait croire que si l'intensité de la couleur du velours est augmentée par la manière dont les fils de soie sont rangés les uns à côté des autres, cela provient seulement de l'obscurité qui règne

en partie par une planche qu'on enleva assez brusquement comme j'étais présent et assez proche; aussitôt la chatte se leva, me regarda avec des yeux dont la partie brillante était très étendue, de sorte que la prunelle paraissait aussi dilatée que son organisation puisse le permettre. Cela semble, au premier abord, être d'accord avec l'opinion que le brillant est à son maximum dans la dilatation de l'organe qui le produit; mais 1° il est clair que cela provient seulement de ce que la prunelle dilatée met à découvert une plus grande partie du fond de l'œil ou du tapis.

» 2° Lorsque la prunelle, qui n'est qu'un trou, est dilatée, les fibres musculaires rayonnantes de l'iris sont, au contraire, contractées. »

Digitized by Google

entre eux ; mais en mêlant du noir à une couleur vive, on la rend plus brune, plus obscure, et non plus vive, plus intense ou plus riche.

» Une draperie de soie d'une couleur brillante a des reflets plus brillants encore qu'on ne peut non plus attribuer à l'obscurité, et qui reconnaissent la même cause ; on ne l'imitera pas en peinture en mêlant du noir à la couleur, mais en la ménageant dans toute son intensité, et l'effaçant par le mélange du blanc pour les parties de la draperie d'où la lumière est censée réfléchie directement.

» En résumé, l'on peut dire de toutes les matières opaques colorées, susceptibles de poli, ce que nous venons de dire de l'or : toutes réfléchissent une partie de la lumière blanche, telle qu'elles la reçoivent, décomposent celle qui pénètre en deux nouvelles parties, l'une desquelles demeure dans le corps, ou du moins n'en ressort pas sous forme de lumière ; l'autre rayonne de tous les points de la surface du corps ; non pas de la surface mathématique, mais d'une certaine profondeur, qui, pour être très petite, n'est cependant pas nulle. Toutes teignent de leur couleur propre les images des objets voisins vues peu obliquement, et rendent, au contraire, parfaitement nettes et semblables aux objets, celles qui ne sont vues que très obliquement, et cela, sans les entacher de leurs propres teintes. Toutes font subir aux rayons de leur propre couleur, lorsqu'ils leur arrivent isolés (ou sans faire partie de la lumière blanche) une vraie réflexion.

» La couleur de l'or pur bien écroui et poli pouvant être comme un terme fixe, la couleur de l'image d'une surface plane d'or poli, donnée par une surface semblable, sera aussi d'une couleur et d'une teinte déterminée (quoique différente), et la même pour tout observateur placé, ainsi que l'appareil, dans les mêmes circonstances : une seconde image résultant de la première présentera une troisième teinte différente, etc.

» On obtiendra donc, soit avec une seule substance, soit en en combinant deux ou plusieurs ensemble par des réflexions et décompositions successives, sous des angles déterminés, un grand nombre de couleurs ou de teintes différentes, toutes constantes et susceptibles d'être reproduites à volonté avec une grande précision.

» Au reste, l'espèce de colorigrade à la construction duquel ces observations sont peut-être susceptibles de servir de base, ne serait vraisemblablement jamais comparable, pour la commodité et la perfection, à ceux de M. Biot. Cependant telles circonstances pourraient se présenter, ce me semble, dans lesquelles il leur serait peut-être substitué avec avantage.

Digitized by Google

» Je conclus de ce qui précède : 1° que ce n'est pas par réflexion, mais par rayonnement, qu'arrive à nos yeux la lumière qui nous fait juger que certaines substances opaques sont colorées, et qu'il en est de même, à quelques modifications ou exceptions près, de celles qui sont transparentes ;

» 2° Que la couleur propre de ces substances, des premières surtout, est ordinairement pâlie par de la lumière blanche qui s'y mêle, mais dont on peut la débarrasser par une suite de réflexions mutuelles et de décompositions, de manière que ces couleurs augmentent considérablement. »

M. A. Prevost a beaucoup approché du but ; il a reconnu que les couleurs des corps ont leur source dans une vraie radiation ; mais il s'est arrêté là, et n'a nullement cherché à déterminer l'essence de cette radiation, sa nature et son comment, si nous pouvons nous exprimer ainsi. Longtemps avant lui Euler avait fait un pas de plus : son explication de la radiation propre des corps est aussi vraie que naturelle ; on nous pardonnera de la donner avec tous ses détails, pleins, plus que jamais, d'intérêt et d'à-propos, puisque M. Arago a solennellement adopté cette explication, et lui a donné un nouveau degré de certitude par d'ingénieuses expériences.

Théorie d'Euler.

Il est des corps qui ne sont pas lumineux par eux-mêmes, qui ne nous deviennent visibles qu'autant qu'ils sont éclairés par quelque autre lumière. Dans une nuit obscure, ou dans une chambre bien fermée, on a beau fixer les yeux sur les objets qui se trouvent dans les ténèbres, on ne verra rien. Les corps non lumineux suffisant à éclairer les corps non lumineux, ils font à cet égard à peu près le même effet que les corps lumineux par eux-mêmes. Nous ne voyons rien que par les rayons qui entrent dans nos yeux. Quand nous voyons un objet quelconque, des rayons partent de chaque point de cet objet, et, entrant dans l'œil, y peignent, pour ainsi dire, l'image de cet objet. Puisque nous ne voyons les corps non lumineux que quand ils sont éclairés, c'est qu'il provient de tous ces points des rayons qui ne subsistent que tant qu'ils sont éclairés. Dès que les corps se trouvent dans les ténèbres, ces rayons s'évanouissent ; ils ne sont donc pas propres aux corps opaques, et leur origine doit se trouver dans l'illumination. Mais comment l'illumination peut-elle faire produire des rayons aux corps opaques, ou les mettre à peu près dans le même état où se trouvent les corps lumineux qui, par l'agitation de leurs moindres particules, produisent des rayons?

Digitized by Google

Les Newtoniens en admettent la réflexion pour cause. Selon eux, les rayons du corps lumineux qui tombent sur la surface des corps non lumineux en sont réfléchis, parviennent ainsi jusqu'à nous, pénètrent dans notre œil, et rendent ces corps visibles comme s'ils étaient lumineux par eux-mêmes. Mais, quelque vraisemblable que soit ce sentiment au premier coup d'œil, il renferme tant d'absurdités quand on l'examine de plus près, qu'il est absolument insoutenable ; il est réellement absurde de dire que ce soit par des rayons réfléchis que nous voyons les corps. Le miroir renvoie sans doute les rayons qui y tombent, mais ces rayons ne représentent pas le miroir, qui reste pour nous comme invisible ; ils nous représentent au contraire les objets dont ils sont partis originairement, et la réflexion ne fait autre chose que de nous faire voir ces objets dans un autre lieu ; nous ne voyons pas les objets dans le miroir, mais plutôt derrière. Au contraire, en regardant un corps non lumineux éclairé par le soleil, nous n'y voyons pas le soleil, mais bien la surface de ce corps avec tous ses accidents. En changeant les objets de place devant le miroir, l'apparition change de place ; les rayons réfléchis représentent continuellement à nos yeux de nouvelles images qui répondent à la nature et à la position des objets au lieu où nous sommes placés, mais ces rayons réfléchis ne nous présentent jamais le miroir même. Au contraire, qu'un corps soit éclairé par le soleil, ou par d'autres corps lumineux ou non lumineux déjà éclairés, de quelque manière que ce corps change de place, ou que nous en changions nous-mêmes, par rapport à lui, l'apparition en est toujours la même ; nous voyons toujours le même objet, et nous n'y remarquons aucun changement qui se rapporte aux diverses circonstances susdites ; ce n'est donc point par des rayons réfléchis que nous voyons les corps opaques. Enfin les rayons réfléchis d'un miroir nous représentent aussi toujours les couleurs des corps d'où ils proviennent originairement, et le miroir où se fait la réflexion n'y change rien ; au contraire, un corps illuminé par un autre, de quelque manière qu'il soit éclairé, nous présente toujours les mêmes couleurs, et l'on peut dire que chaque corps a sa propre couleur ; ce ne sont donc pas les rayons réfléchis qui nous montrent les corps.

» Et en effet, tous les phénomènes prouvent invinciblement que si nous voyons un corps non lumineux, c'est que les particules éthérées dans sa surface (1) se trouvent dans une agitation semblable

(1) Pour plus de clarté, nous substituerons dans tout ce qui va suivre à l'expression *moindres particules* employée par Euler, cette autre, *particules éthérées*.

Digitized by Google

à celles dont les particules des corps lumineux sont ébranlés ; avec cette différence, cependant, que l'agitation dans les corps opaques n'est pas à beaucoup près si forte que dans les corps lumineux. Puisque nous voyons les corps opaques mêmes, et point du tout les images des corps lumineux qui les éclairent, comme cela devrait arriver si nous les voyions par des rayons réfléchis à leur surface, il faut que les rayons par lesquels nous les voyons leur soient aussi propres, et leur appartiennent aussi étroitement que les rayons des corps lumineux à ceux-ci. Tant qu'un corps opaque est éclairé, les particules éthérées de sa surface se trouvent donc dans une agitation propre à produire dans l'éther extérieur un mouvement de vibration, tel qu'il faut pour former des rayons et peindre dans nos yeux l'image de leur original. Pour cet effet, il faut que de chaque point de sa surface, il soit répandu des rayons en tous sens ; ce que l'expérience confirme évidemment, puisque de quelque côté que nous regardions un corps opaque, nous le voyons également dans tous les points ; d'où il suit que tous les points envoient des rayons en tous sens. Cette circonstance distingue essentiellement ces rayons des rayons réfléchis, dont la direction est toujours déterminée par celle des rayons incidents ; de sorte que si ses rayons incidents viennent d'une seule région, comme du soleil, les rayons réfléchis ne suivraient qu'une seule direction. Il faut donc admettre que dès qu'un corps non lumineux est éclairé, toutes les particules éthérées qui se trouvent à sa surface sont mises dans une certaine agitation qui produit des rayons, agitation d'autant plus forte que la lumière qui éclaire est plus efficace. Voilà donc quelle est la nature des corps non lumineux : c'est que leurs particules éthérées sont d'elles-mêmes en repos, ou du moins destituées de l'agitation qu'il faut pour produire de la lumière ou des rayons. Mais ces mêmes particules ont une telle disposition, que lorsqu'elles sont éclairées, ou que des rayons de lumière y tombent, elles sont d'abord mises dans un certain ébranlement, ou mouvement de vibration, propre à produire des rayons ; et plus la lumière qui éclaire ces corps est vive, plus aussi l'agitation sera forte. Tant donc qu'un corps non lumineux est éclairé, il se trouve dans le même état que les corps lumineux, ses moindres particules étant agitées de la même manière, et capables d'exciter des vibrations dans l'éther ; avec la différence que dans les corps lumineux cette agitation subsiste d'elle-même, entretenue qu'elle est par une force intrinsèque ; au lieu que dans les corps opaques cette agitation est accessoire, étant produite par la lumière qui les éclaire, et entretenue par une force

Digitized by Google

étrangère qui ne réside pas dans le corps même, mais dans l'illumination. Cette explication suffit à tous les phénomènes.

» Mais comment la simple illumination est-elle capable de mettre en agitation les particules éthérées des corps, et précisément dans cette agitation qui engendre la lumière? Le parallèle entre le son et la lumière résout cette difficulté. Les corps lumineux doivent être comparés à des instruments de musique mis en action, ou qui résonnent actuellement. Il est indifférent qu'ils résonnent par une force intrinsèque ou par des causes étrangères, il suffit qu'ils résonnent et fassent du bruit. Les corps non lumineux, tant qu'ils ne sont pas éclairés, doivent être comparés à des instruments de musique hors d'action, ou à des cordes tendues qui sans être touchées ne rendent aucun son. La question étant ainsi transposée de la lumière au son, se réduit à ceci : une corde tendue en repos, se trouvant dans la sphère d'action d'instruments de musique, peut-elle en recevoir quelque agitation et commencer à résonner sans être touchée?

» Or, l'expérience répond évidemment que oui : sous l'action de vibrations préexistantes, la corde vibre et rend le même son que si elle avait été touchée. Cette expérience réussit beaucoup mieux si le son préexistant est celui que la corde peut rendre. Que l'on considère attentivement les cordes d'un piano qu'on ne touche pas, pendant qu'un instrument produit d'une manière intense le son *ut* par exemple, on remarquera que la corde destinée à produire ce même son commence à vibrer sensiblement et même à résonner; quelques autres cordes seront aussi agitées, ce sont celles qui rendront l'octave, la quinte et la tierce du son produit. Pour rendre ce que nous venons de dire plus sensible, considérons deux cordes devant rendre le même son : en frappant l'une, l'autre commencera d'elle-même à vibrer et à résonner. La raison en est évidente : car comme une corde communique à l'air, en vibrant, un mouvement de vibration semblable, l'air, réciproquement agité de ce mouvement, doit faire vibrer la seconde corde, si sa tension la rend susceptible de mouvement; il frappe la corde tant soit peu à chaque coup, et la réitération des pulsations à chaque vibration imprime bientôt à la corde un mouvement sensible, puisque les vibrations auxquelles elle est disposée par sa tension conviennent avec celles qui se trouvent dans l'air. Si le nombre des vibrations dans l'air est la moitié, le tiers, ou s'il est exprimé par un rapport simple, la corde ne recevra pas une impulsion à chaque vibration, comme dans le premier cas, mais à chaque deuxième, troisième

Digitized by Google

ou quatrième vibration, ce qui continuera d'augmenter son tremblement, mais pas si fort que dans le premier cas.

» Mais si le mouvement dans l'air n'est dans aucun rapport simple, avec celui qui convient à la corde, l'ébranlement de l'air ne produira aucun effet sur elle ; les vibrations de la corde, s'il y en a, ne se rencontreront pas avec celles de l'air ; les impulsions suivantes de l'air détruiront, pour la plupart, l'effet que les premières peuvent avoir produit ; c'est ce que l'expérience confirme admirablement : aussi, lorsqu'une corde est ébranlée par le seul bruit d'un son, l'effet est plus sensible si le son dans l'air est précisément le même que celui de la corde. D'autres sons qui ont une consonnance avec celui de la corde produiront bien un effet semblable, mais moins sensible, et les dissonances n'en produisent aucun. Cette circonstance a lieu non seulement dans les cordes, mais dans tous les corps sonores. Une cloche sonnera par le seul bruit d'une autre cloche qui est en harmonie avec elle ou qui peut produire le même son, l'octave, la quinte, ou la tierce. L'histoire nous en fournit un exemple dans les verres à boire. Il y avait un homme qui cassait les verres par son cri. Quand on lui présentait un verre, il en examinait d'abord le son en frappant dessus, puis il criait du même ton dans le verre, qui commençait à s'ébranler ; il donnait ensuite à sa voix tout le développement possible, et l'ébranlement du verre devenait si fort qu'il se brisait en petits morceaux.

» Après ce que nous venons d'exposer, on ne sera plus surpris qu'un corps puisse recevoir, par la seule illumination dans ses petites particules éthérées, une agitation semblable à celle dont les particules des corps lumineux sont animées, et qui leur donne la propriété de produire des rayons qui les rendent visibles. C'est donc une vérité constatée que les particules éthérées de tous les corps que nous voyons se trouvent à leur surface dans une certaine agitation, ou mouvement de vibration semblable à celui des cordes vibrantes, mais incomparablement plus vif ou plus rapide, soit que cette agitation soit l'effet d'une force intrinsèque, comme dans les corps lumineux par eux-mêmes, soit qu'elle soit produite par des rayons de lumière préexistants, c'est-à-dire par l'illumination comme il arrive pour les corps non lumineux. Ainsi les rayons du corps éclairant, en tombant sur la surface du corps éclairé, excitent les particules à un ébranlement semblable d'où résultent les rayons qui, en entrant dans nos yeux, y peignent son image. Cette agitation des particules étherées des corps non lumineux ne dure pas plus longtemps, en général, que l'illumination qui en est la cause.

Digitized by Google

Mais ne pourrait-il pas arriver que cette excitation, une fois imprimée aux moindres particules, se conserve encore pendant un certain temps, comme nous voyons qu'une corde pincée continue souvent à vibrer pendant longtemps? Qui oserait nier que ce cas soit possible, et ne serait-ce pas là l'origine de certaines substances phosphorescentes qui, une fois éclairées, conservent encore quelque temps leur lumière, quand on les porte dans une chambre obscure?

» Mais faisons un pas encore. Il n'est pas douteux qu'il se trouve une différence infinie entre les particules éthérées des corps non lumineux, selon la variété de ces mêmes corps: quelques uns seront plus susceptibles de mouvements de vibrations; d'autres le seront moins; il doit même y en avoir qui n'en sauraient recevoir aucun. Cette différence doit évidemment se rencontrer dans les corps par rapport à la lumière, comme par rapport au son. Par là, tel corps dont les particules reçoivent facilement l'impression des rayons qui y tombent, nous paraîtra brillant; tel autre, au contraire, où les rayons ne causent presque point d'agitation, doit rester obscur et ténébreux. De plus, il doit exister une différence très remarquable parmi ces mêmes particules, à l'égard du nombre des vibrations que chacune, étant agitée, rendra dans un temps donné: ce nombre doit toujours être fort grand; mais il peut encore varier dans des limites fort étendues, selon la petitesse, la tension et l'élasticité de chacune, comme il arrive dans les cordes, où le nombre des vibrations exécutées peut varier à l'infini. Comme cette différence est essentielle dans les sons, et que l'ouïe en est affectée d'une manière si particulière, on ne saurait douter qu'une différence pareille dans la fréquence des vibrations des molécules lumineuses ne produise un effet tout particulier, et un différence très essentielle dans la sensation que nous appelons vision. Le phénomène produit par cette différence est précisément la diversité des couleurs; car la nature de chaque couleur consiste en partie ou principalement dans le nombre de vibrations de ces particules lumineuses qui nous présentent cette couleur et les exécutent dans un temps donné

» Chaque couleur simple, comme nous l'avons dit, est liée à un certain nombre de vibrations qui s'achèvent dans un certain temps; de sorte que ce nombre de vibrations par seconde détermine la couleur rouge, un autre la couleur jaune, un autre la couleur verte, etc. Si donc les particules de la surface de quelques corps sont disposées de telle sorte, qu'étant agitées, elles rendent dans une seconde autant de vibrations qu'en exige, par exemple, la cou-

Digitized by Google

leur rouge, nous nommons ce corps rouge: les rayons partis de ce corps, et qui renferment autant de vibrations dans une seconde, pourront être nommés rouges avec le même droit; et enfin, quand les nerfs du fond de l'œil sont affectés par ces mêmes rayons, et qu'ils en sont frappés presque autant de fois dans une seconde, ils excitent la sensation de la couleur rouge. Ici tout est clair; le parallélisme entre le son et la lumière est si parfait, qu'il se soutient même dans les moindres circonstances. Le même son qu'une corde rendrait étant touchée est le plus efficace à ébranler cette corde, et d'autres sons n'y produisent d'effet qu'autant qu'ils font avec elle une belle consonnance; il en est exactement de même de la lumière et des couleurs. Pour mettre cette vérité en évidence, on prépare une chambre obscure; on fait un petit trou dans un de ses volets, et l'on place devant ce petit trou, à quelque distance, un corps d'une certaine couleur, tel qu'un morceau de drap rouge, en sorte que, lorsqu'il sera bien éclairé, ses rayons entrent dans la chambre obscure. Ce seront donc des rayons rouges qui entreront dans la chambre, l'entrée de toute autre lumière étant défendue: or, si dans cette même chambre, on tient vis-à-vis du trou un morceau de drap de la même couleur rouge, il sera parfaitement éclairé, et sa couleur rouge paraîtra fort brillante; mais si on substitue un morceau de drap vert, il demeurera obscur, et l'on ne verra presque rien de sa couleur. Réciproquement, si on place en dehors de la chambre un morceau de drap vert, le drap vert intérieur sera parfaitement éclairé, sa couleur paraîtra fort vive. Il en est de même de toutes les autres couleurs, et il semble qu'on ne puisse pas prétendre à une preuve plus éclatante du système des ondulations. On voit par là que, pour éclairer un corps d'une certaine couleur, il faut que les rayons qui y tombent aient la même couleur, ceux d'une couleur différente n'étant pas capables de mettre en mouvement les particules éthérées de ce corps. Cela se prouve encore par une expérience fort connue. Lorsqu'on allume de l'esprit de vin dans une chambre, sa flamme bleue, qui ne peut faire ressortir la couleur rose des visages, les rend fort pâles; on dirait des figures de mourants. Si quelqu'un, au contraire, porte un habit bleu, cet habit paraîtra tout-à-fait brillant. Or, les rayons du soleil éclairent tous les corps à peu près également; d'où l'on conclut que les rayons du soleil renferment toutes les couleurs à la fois, comme on le démontre réellement. On tire aussi de là cette conclusion, que la couleur blanche n'est rien moins que simple, mais qu'elle est plutôt un mélange de toutes les couleurs simples: aussi voyons-nous que le blanc est également propre à recevoir toutes

Digitized by Google

les couleurs. Pour le noir, il n'est pas proprement une couleur: lorsque les particules éthérées d'un corps sont telles, qu'elles ne sauraient recevoir aucun mouvement de vibrations, ce corps est est noir; ou bien un corps qui ne produit pas de rayons est noir. Ainsi le défaut de rayons produit cette couleur; et plus il se trouve sur la surface de quelques corps de telles particules qui ne sont susceptibles d'aucun mouvement de vibration, plus il paraît obscur et noirâtre. »

Voilà le système d'Euler; résumons-le avec lui. Puisqu'il est certain qu'un bruit est capable de mettre en mouvement les cordes d'un clavecin pour le faire résonner, la même chose doit aussi avoir lieu dans les objets de notre vue. Les corps colorés sont semblables aux cordes d'un clavecin, et les différentes couleurs aux sons différents tantôt graves, tantôt aigus. La lumière dont les corps sont éclairés est abalogue au bruit auquel le clavecin est exposé; et comme ce bruit agit sur les cordes, la lumière dont un corps est éclairé, agira d'une manière semblable sur les particules éthérées de la surface de ce corps; elle leur fera rendre des vibrations, et il en naîtra des rayons, tout de même que si ces particules étaient lumineuses, la lumière n'étant autre chose que le mouvement de vibration des particules éthérées d'un corps communiquées à l'éther, qui les transmet ensuite jusqu'aux yeux.

Prévost affirmait que les différents corps de la nature vibraient une lumière propre; Euler explique très nettement en quoi consiste ce mouvement vibratoire, quelle est sa cause nécessaire et suffisante: ce grand et difficile problème: comment les corps nous deviennent-ils visibles avec leur couleur propre, est résolu d'une manière tout-à-fait satisfaisante. Il reste cependant encore un pas à faire; il faut étudier plus intimement l'action des corps de la nature sur la lumière qui les éclaire. La lumière ne nous rend les corps visibles qu'en subissant de leur part une influence qui la modifie profondément. Elle est quelquefois retardée, quelquefois éteinte en tout ou en partie, de manière à présenter un ensemble discontinu de portions brillantes et obscures. Nous avons déjà considéré en elles-mêmes ces raies d'absorption; mais il est nécessaire de les examiner de nouveau d'une manière toute spéciale dans leur rapport avec la couleur propre des corps; nous ne pouvons arriver que par là à l'explication de la lumière colorée que réfléchissent ou transmettent les corps translucides. Un excellent mémoire de M. le baron de Wrede, mémoire qui, par une sorte de fatalité, est resté tout-à-fait ignoré jusqu'ici, va nous révéler à ce sujet des principes trop

Digitized by Google

méconnus, des faits très curieux, l'explication tout-à-fait naturelle de phénomènes très obscurs.

Théorie de M. de Wrede.

Nous ne pouvons nous dispenser de traduire intégralement le beau mémoire de M. de Wrede, inséré d'abord dans les *Annales de Poggendorff*, vol. XXXIII*, p. 253 et suivantes, et depuis en anglais dans les *Mémoires scientifiques* de Taylor, t. II, p. 477; sous ce titre: *Essai d'explication du phénomène de l'absorption de la lumière dans la théorie des ondulations.* Indépendamment des excellentes vues théoriques qu'il renferme, ce mémoire contient plusieurs découvertes expérimentales remarquables, celle entre autres des raies qui sillonnent le spectre réfléchi par une lame de mica cylindrique. Nous sommes vraiment heureux de venger ce beau travail de l'oubli auquel il a été voué, et nous en voulons à M. Erman de l'avoir à peine indiqué.

Il semblera au premier abord que nous aurions dû insérer ces pages dans le long article qui avait pour objet les raies du spectre; on verra bientôt qu'elles trouvent non moins naturellement leur place dans la théorie des couleurs. Nous omettons forcément le détail des calculs, dont nous indiquons seulement la marche.

« La précision mathématique avec laquelle un grand nombre de phénomènes lumineux sont expliqués au moyen de la théorie des ondulations, et la simplicité des principes fondamentaux de cette théorie, aussi bien que l'analogie qu'elle présuppose entre les deux organes principaux, la vue et l'ouïe, dont la nature a doué les êtres vivants, pour les rendre aptes à percevoir et à distinguer les objets extérieurs qui les entourent, rendraient cette théorie extrêmement probable en elle-même, alors même que nous ne serions pas assez heureux pour faire rentrer dans ses lois générales tous les phénomènes élémentaires. Quoique nous ne nous regardions pas comme autorisé à prononcer en dernier ressort sur la valeur intrinsèque de cette théorie, nous devons faire observer cependant que tout semble prononcer en sa faveur, si nous la comparons avec la théorie de l'émission; celle-ci, en effet, avec tous ses moyens auxiliaires si peu probables, ne rend compte que d'un nombre limité de phénomènes lumineux, tandis qu'elle laisse sans explication plusieurs autres phénomènes que la théorie des ondulations, non seulement explique entièrement, mais qu'elle a même prévus avant leur observation.

Digitized by Google

» La principale objection que l'on faisait à la théorie des ondulations, est qu'elle laissait inexpliqués les phénomènes de la *dispersion* et de l'*absorption*.

« Quant à ce qui regarde la dispersion, Fresnel ne l'avait pas, il est vrai, expliquée, mais du moins il avait montré qu'elle n'est pas en opposition avec la théorie des ondulations. Il avait prouvé, en effet, que la vitesse avec laquelle la lumière se transmet à travers un milieu élastique n'est indépendante de la longueur des ondes qu'autant que les rayons des sphères d'action mutuelle des molécules du milieu élastique sont assez petits pour qu'on puisse les regarder comme nuls en comparaison de la longueur des ondes. S'il n'en est pas ainsi, la vitesse de transmission pour les ondes lumineuses les plus courtes doit être plus petite que pour les ondes les plus longues, et cette conclusion, la théorie des ondulations peut la regarder comme certaine, parce qu'elle résulte des observations faites sur la dispersion de la lumière.» M. Cauchy, depuis Fresnel, a pleinement résolu le problème de la dispersion.

» J'arrive maintenant à ce qui fait l'objet principal de ce mémoire, l'absorption de la lumière. Brewster, qui plus que personne a suivi avec attention les phénomènes relatifs à l'absorption, et qui a agrandi le champ de nos connaissances dans cette branche de l'optique aussi bien que dans les autres, signale (dans le mémoire où il décrit la découverte curieuse que certains gaz colorés jouissent de la propriété d'absorber une innombrable multitude d'espèces de lumière, tandis qu'ils transmettent intactes celles qui leur sont intermédiaires) une série de phénomènes d'absorption qu'il regarde comme contraires à la théorie des ondulations. Entre autres remarques il fait la suivante: « Que la théorie des ondulations soit défectueuse en tant que représentation physique des phénomènes lumineux, c'est ce qui a été admis par ceux qui la défendent le plus ouvertement; et cette imperfection pour ce qui est relatif au pouvoir dispersif des corps a été établie par sir John Herschell comme une objection très formidable. Je vais montrer maintenant qu'il y a d'autres objections à cette théorie physique, et je laisserai à la franchise du lecteur de préciser si ces objections sont plus ou moins formidables que celle qui précède (1). » Toutes ces nouvelles objections de Brewster contre la théorie des ondulations sont tirées des phénomènes d'absorption.

(1) Phil. Mag. and Annals, vol. II, p. 360.

Digitized by Google

» M. Airy (1), dans ses remarques sur ce mémoire de Brewster, a pleinement reconnu, je le sais, que la théorie des ondulations n'a point jusqu'ici donné d'explication des phénomènes d'absorption ; mais il a d'un autre côté comparé les deux théories sur d'autres points avec tant de savoir et de clarté, que je regarde comme impossible qu'on puisse, après l'examen de cet ensemble de faits, hésiter un seul instant sur la préférence à donner. Je suis cependant obligé de contredire ce qu'Airy a affirmé relativement à l'absorption de la lumière, si ma manière de voir sur ce sujet est exacte. Airy dit qu'il ne pense pas que l'absorption puisse être considérée comme une partie essentielle de la théorie de la lumière. « Ce phénomène, dit-il, est le résultat d'une interruption ou discontinuité intrinsèque, qui tantôt laisse dans toute leur vigueur les lois normales, tantôt détruit pleinement, non les lois, mais ce qui est le sujet de ces lois. » En admettant même cette assertion de M. Airy, je ne vois pas comment on peut arriver à conclure que la théorie de la lumière ne doit pas s'étendre jusqu'aux phénomènes d'absorption. Car si nous présupposons dans les corps certaines propriétés au moyen desquelles ils agissent de manière à troubler les phénomènes lumineux, nous pouvons aussi d'un autre côté présupposer dans la lumière une propriété moyennant laquelle ces phénomènes *seraient disposés à être troublés par les corps*, et nous devrions alors expliquer nécessairement cette dernière propriété par la théorie de la lumière. J'ai suivi avec attention les phénomènes intéressants décrits par Brewster ; mais bien loin d'en tirer les mêmes conséquences que lui, j'y trouve seulement la confirmation complète de la théorie des ondulations.

» Quand j'ai vu pour la première fois le spectre d'une lumière qui a traversé de la vapeur d'iode ou de brome, spectre dont le sillonnement régulier ne laisse aucun doute que toutes les absorptions (il y en a près de cent) ne pouvaient pas être l'effet d'une seule et même cause efficiente immédiate, j'ai été convaincu que le tout était un phénomène d'interférence, quoique je ne pusse pas à cette époque me rendre assez compte de la manière dont il est produit.

» J'essaierai aujourd'hui de faire voir que dès que l'on assigne à la matière une propriété très simple, et nullement en opposition avec les idées que nous nous en formons d'ailleurs, tous les phénomènes que nous comprenons dans la classe des *phénomènes d'ab-*

(1) Phil. Mag. and Annals, vol. II, p. 419.

Digitized by Google

sorption deviennent de purs corollaires du principe général des interférences.

» Sir John Herschell a fait voir dernièrement dans un mémoire sur l'absorption de la lumière par les milieux colorés envisagée dans ses rapports avec la théorie des ondulations (1), mémoire intéressant et instructif sous divers points de vue, la possibilité de considérer les phénomènes d'absorption comme dus à des interférences. Mais il a assigné à chaque absorption individuelle une cause différente, ce qui l'a obligé de supposer dans les corps absorbants autant de causes diverses qu'il y a d'absorptions dans le spectre. On conçoit encore assez facilement deux mille causes agissant séparément dans un seul et même corps, comme ce serait le cas, par exemple, pour le gaz acide nitreux; mais où trouver la raison de la grande régularité qu'il faudrait admettre forcément dans ces cent causes agissant à la fois dans les vapeurs d'iode ou de brome? De plus, sir John Herschell croit que les observations certaines sur l'intensité et l'irrégularité apparente des phénomènes d'absorption, forcent de renoncer à l'idée d'une cause agissant par gradation continue. Il établit plus loin, que « si les phénomènes pouvaient tous être représentés par une expression analytique, cette expression serait d'une nature singulière et compliquée, et renfermerait, pour répondre à toutes les exigences des faits, un grand nombre de constantes arbitraires dépendantes de la relation du milieu avec la lumière, comme aussi des transcendantes d'un ordre élevé et très compliqué.

» Je m'efforcerai de prouver, au contraire, que toutes ces causes peuvent se ramener à une seule, ou tout au moins à un nombre fort limité, et qu'on peut les comprendre toutes sous une expression analytique très simple, qui contient un petit nombre de constantes dépendant uniquement de la nature du milieu absorbant.

» Le peu de connaissance que nous avons sur la constitution intime de la matière ne nous permet pas de prédire l'effet que tel corps produira sur l'onde lumineuse qui le traverse. Si, néanmoins, nous concevons que la matière soit composée de particules maintenues par de certaines forces à des distances déterminées les unes des autres, nous concevrons aussi que ces particules peuvent offrir une résistance à l'onde lumineuse qui les traverse et la réfléchir par conséquent en partie. La lumière ainsi réfléchie, et se propageant dans une direction contraire à sa direction primitive, peut de nouveau, par une seconde réflexion, reprendre sa direction

(1) Phil. Mag. and Annals, vol. III, p. 401.

Digitized by Google

primitive, la perdre une seconde fois par une réflexion partielle, et ainsi de suite indéfiniment. Ainsi se produit une série indéfinie de systèmes d'ondes lumineuses, dont chacun possède une intensité plus faible que celui qui l'a immédiatement précédé, et qui, si on le compare avec celui-ci, a été diminué d'une quantité proportionnelle au double de la distance qui sépare les deux surfaces réfléchissantes. Si nous nous bornons présentement à considérer les deux premiers systèmes, il est clair que leur résultante peut dépendre de la relation qu'il y a entre la longueur de l'onde lumineuse et la quantité de retard de l'un des systèmes sur l'autre. De sorte que si ce retard est égal à

$$1/2,\ 3/2,\ 5/2,\ 7/2\ldots$$

de la longueur d'onde lumineuse, l'intensité de leur résultante doit être égale à la différence entre les intensités des deux systèmes; et si le retard est égal à un multiple entier de la longueur d'onde lumineuse, l'intensité de la résultante est égale à la somme des intensités des systèmes. Si nous admettons maintenant que des ondes lumineuses de toutes les intensités, depuis la limite la plus longue α, jusqu'à la plus courte β, traversent un milieu qui occasionne un retard φ dans une partie de cette lumière, il est évident que l'intensité de toutes les sortes de lumière dont la demi-longueur d'onde φ est :

$$\frac{\varphi}{3},\ \frac{\varphi}{5},\ \frac{\varphi}{7},\ \frac{\varphi}{9},\ \frac{\varphi}{11}\ldots\frac{\varphi}{2m-1},\ \frac{\varphi}{2m+1},\ \text{etc.},$$

est un *minimum;* qu'au contraire, les espèces de lumière dont la demi-longueur d'onde est :

$$\frac{\varphi}{2},\ \frac{\varphi}{4},\ \frac{\varphi}{6},\ \frac{\varphi}{8}\ldots\frac{\varphi}{2m},\ \frac{\varphi}{2m+2},\ \text{etc.},$$

atteignent leur *maximum* d'intensité.

» Quand ces espèces de lumière sont séparées au moyen d'un prisme, chacune de celles dont l'intensité est un minimum semble absorbée comparativement à celles qui leur sont imtermédiaires, et le spectre tout entier est analogue à celui que présente le rayon de lumière qui a traversé de la vapeur d'iode ou de brome.

» Avant d'aller plus loin dans la comparaison des spectres qui, d'après la théorie, sont dus à un simple retard, et de ceux qui, comme l'expérience le montre, sont produits par des milieux ab-

Digitized by Google

sorbants, j'essaierai de déterminer quelles sont les conséquences des hypothèses faites ci-dessus, à savoir, l'hypothèse d'une série indéfinie de réflexions.

» Supposons que a représente l'intensité primitive de la lumière, r la fraction qui se perd à chaque réflexion, et que b indique la distance entre les deux surfaces réfléchissantes, et rappelons-nous que Fresnel a montré, dans son excellent mémoire sur la diffraction de la lumière (1), que la vitesse de l'ondulation u que chaque particule d'éther reçoit pendant le temps t d'un système d'ondes lumineuses, dont l'intensité est a et la longueur d'ondulation λ, est exprimée par l'équation :

$$(1) \qquad u = a \sin 2\pi \left(t - \frac{x}{\lambda} \right),$$

dans laquelle x exprime la distance qui sépare les particules du centre de vibration.

» Cette formule servira à déterminer les vitesses d'ondulation u, u_1 u_2, u_3,.... que les particules de l'éther reçoivent du système d'ondes lumineuses dont les intensités respectives sont données par le tableau suivant :

$(1-r)^2a$	0
$r^2(1-r)^2a$	$2b$ (2).
$r^4(1-r)^2a$	$4b$
$r^6(1-r)^2a$	$6b$
$r^8(1-r)^2a$	$8b$
. . . .	. .
. . . .	. .
$r^{2n}(1-r)^2a$	$2nb$

a donne directement $(1-r)a$, et celui-ci directement $(1-r)^2a$.

$(1-r)a$ donne par réflexion $r^2(1-r)a$, et celui-ci directement

$$r^2(1-r)^2a.$$

$r^3(1-r)a$ donne par réflexion $r^4(1-r)a$, et celui-ci directement

$$r^4(1-r)^2a.$$

(1) Poggendorff's Annalen der phys. u. Chem., vol. XXX, p. 100.

(2) $2b$ est le retard de chacun des systèmes sur celui qui le précède immédiatement.

Digitized by Google

$r^5(1-r)a$ donne par réflexion $r^6(1-r)a$, et celui-ci directement

$$r^6(1-r)^2a.$$

$r^7(1-r)a$ donne par réflexion $r^8(1-r)a$, et celui-ci directement

$$r^8(1-r)^2a.$$

. . . . . .

. . . . . .

$r^{2n-1}(1-r)a$ donne par réflexion $r^{2n}(1-r)a$, et celui-ci direct.

$$r^{2n}(1-r)^2a.$$

« La vitesse d'ondulation U, que la particule d'éther acquiert par l'action collective des systèmes d'ondes lumineuses, sera la somme des vitesses u, u_1, u_2, u_3,... u_n, on aura :

$$U = u + u_1 + u_2 + u_3 + ,... + u_n ;$$

et par une suite de calculs faciles on trouvera :

$$(2) \qquad U = A.\sin\left[2\pi\left(t - \frac{x}{\lambda}\right) - i\right]$$

» Cette équation étant de même forme que celle qui a servi de point de départ, il en résulte que le système résultant d'ondes lumineuses sera tout-à-fait de même nature que le système primitif, et n'en différera que par l'intensité et la position.

» Il restait à calculer l'intensité A ; M. de Wrede y parvient par une série de transformations élégantes, et trouve définitivement :

$$(3) \qquad A = \frac{a\,(1-r)^2}{\sqrt{1 - 2r^2\cos 2\pi\frac{2b}{\lambda} + r^4}}$$

» Quand, ajoute M. de Wrede, l'on considère la réflexion partielle à la surface comme la réflexion totale de toute la lumière en contact avec les molécules du corps, il est évident que si, en négligeant la forme de ces molécules, on appelle, comme plus haut, ra la portion réfléchie, et par suite $(1-r)a$ la partie qui continue à se mouvoir dans la direction primitive, la quantité totale ra ne retournera pas dans une direction contraire, mais cette lumière sera en partie réfléchie dans les différentes directions. Pour se convaincre qu'un pareil changement dans l'hypothèse première ne doit altérer en rien les résultats que nous en avons déduits, il suffit de supposer

Digitized by Google

que la partie ra réfléchie en sens contraire est maintenant $r'a$; les intensités du système d'ondes primitives seront dès lors :

$$a(1-r)^2,\ a(1-r)^2 r'^2,\ a(1-r)^2 r'^4,\ a(1-r)^2 r'^5,\ldots$$

» Un calcul semblable donnerait :

$$A = \frac{a(1-r)^2}{\sqrt{1-r'^2\cos 2\pi\frac{2b}{\lambda}+r'^4}}.$$

» Si l'on différentie, par rapport à $\frac{2b}{\lambda}$, cette expression, qui représente l'intensité de l'onde lumineuse résultante, on verra que A deviendra un maximum ou un minimum quand on aura :

$$\sin 2\pi\frac{2b}{\lambda} = o$$

que par suite A sera un maximum si $\frac{2\pi}{\lambda}$ a l'une des valeurs suivantes :

$$0,\ 1,\ 2,\ 3,\ 4,$$

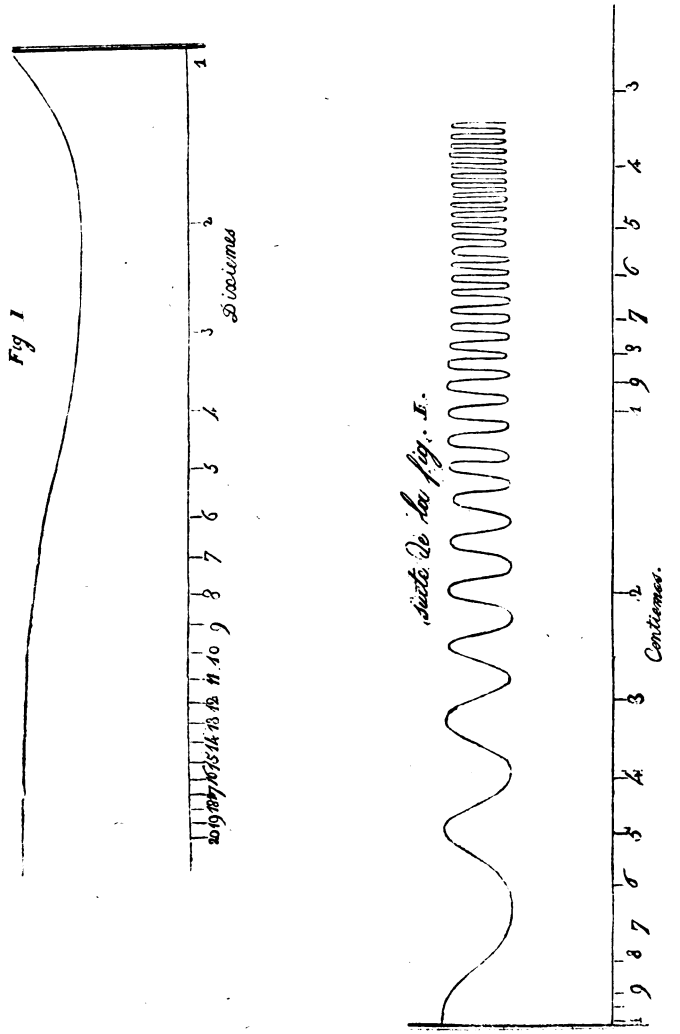
un minimum si $\frac{2\pi}{\lambda}$ est à égal à

$$1/2,\ 3/2,\ 5/2,\ 7/2,\ 9/2\ldots$$

Le système résultant d'un nombre indéfini de systèmes d'ondes devient donc un maximum ou un minimum sous les mêmes conditions précisément que l'onde résultante de deux de ces systèmes seulement. Pour rendre sensible aux yeux l'hypothèse que j'ai mise en avant, j'ai construit dans la figure 1 l'équation 3) de telle manière que les valeurs de l'intensité A correspondantes aux différentes valeurs de $\frac{\lambda}{2b}$, étant prises pour ordonnées, les abscisses soient les logarithmes de $\frac{\lambda}{2b}$. Comme la différence entre les logarithmes de deux nombres dépend uniquement de la relation entre ces nombres, et non de leur grandeur absolue, les distances entre deux points de l'axe des abscisses ou les différences entre deux longueurs d'ondulation, ayant entre elles une

Digitized by Google

relation donnée constante, seront indépendantes de la valeur absolue assignée à $\frac{2\lambda}{b}$, et auront par conséquent la même valeur

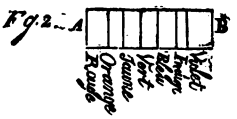


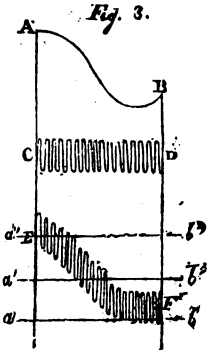
dans toute l'étendue de la courbe.

» Dans le but d'examiner les phénomènes d'absorption qui se ma

Digitized by Google

nifesteraient dans un spectre pour lequel les longueurs extrêmes d'ondulations, rouges et violettes, seraient entre elles comme 1,58 est à 1, j'ai tracé un spectre, figure 2, dont la longueur était





log 1,58, et dont les divisions rouge, jaune, vert, etc., correspondaient aux longueurs suivantes :

$$\log \frac{\text{rouge extrême.}}{\text{limite entre rouge et jaune.}}$$

$$\log \frac{\text{limite rouge et jaune}}{\text{limite jaune et vert}}, \text{ etc...}$$

» Si, maintenant, on suppose que la distance b entre les surfaces réfléchissantes est très petite, qu'elle est, par exemple, égale à la quarantième partie de la longueur d'ondulation de la lumière rouge, la valeur $\frac{\lambda}{2b}$, qui représente la longueur d'onde de la lumière rouge, sera égale à 20. Si maintenant on place la figure 2 sur la figure 1, de telle sorte que l'extrémité rouge corresponde à la division 20, on verra que toute la partie de la courbe qui représente le spectre est très voisine du maximum; et l'on en conclura que le corps pour lequel $2b$ est égal au vingtième de la longueur d'onde du rayon rouge, absorbe peu de lumière, ou qu'il est transparent, qu'il absorbe toutes les couleurs dans une proportion sensiblement la même, et que, par conséquent, il est incolore.

» Supposons maintenant que $2b$ soit plus grand, qu'il soit, par exemple, égal au quart de la longueur d'onde du rayon rouge; il faudra alors placer la figure 2 de telle sorte que l'extrémité rouge

Digitized by Google

corresponde à la division 4; on verra alors que le spectre entier se concentre dans le voisinage du minimum d'intensité, mais que l'extrémité violette est la plus près de ce minimum ; d'où l'on doit conclure que le corps est diaphane, et que sa couleur tombe entre les limites du rouge.

» Faisons faire à la figure 2 un pas en avant; supposons, par exemple, que $2b$ soit égal à la demi-longueur d'onde du rayon vert; nous trouverons que le spectre entier sera concentré dans le voisinage du minimum d'intensité; que le corps, par conséquent, sera non diaphane ou opaque, si r est assez grand, et tel que le minimum soit placé dans les limites de notre sphère de vision; dans le cas contraire, il apparaîtra noir.

» Si nous continuons à porter en avant la fig. 2, c'est-à-dire à supposer des retards continuellement croissants, nous obtiendrons des spectres dans lesquels le maximum d'intensité tombera successivement sur le violet, le bleu, le vert, le jaune, et le rouge, et dans lequel les couleurs complémentaires seront plus ou moins absorbées. Supposons maintenant que la quantité r dont dépend, non la condition du maximum ou du minimum, mais la valeur plus ou moins grande de l'intensité, soit différente pour les différents corps; il sera facile alors de concevoir comment les couleurs si variées des corps, comme aussi leur plus ou moins grande transparence, peuvent trouver leur raison et leur explication dans la source que nous venons de signaler (1).

(1) Si nous calculons la résultante des rayons réfléchis dont les intensités seraient :

$$ra,\ ra\,(1-r)^2,\ ra\,(1-r)^2\,r^2,\ldots.$$

de la même manière que nous avons calculé la résultante des rayons transmis, nous obtiendrons pour son intensité :

$$A' = ra\,\frac{\sqrt{1+2\,(1-2r)\cos 2\pi\frac{2b}{\lambda}+(1-2r)^2}}{\sqrt{1-2r^2\cos 2\pi\frac{2b}{\lambda}+r^4}}$$

Si l'on différencie cette expression par rapport à $\frac{2b}{\lambda}$, on verra que A' devient un maximum quand on donne pour valeurs à $\frac{2b}{\lambda}$

$$0,\ 1,\ 2,\ 3,\ 4.....$$

un minimum quand $\frac{2b}{\lambda}$ est égal à l'un des nombres

$$1/2,\ 3/2,\ 5/2,\ 7/2....$$

c'est-à-dire dans les mêmes conditions que A. Il résulte de là que ce que nous

Digitized by Google

» Aussi longtemps que nous donnons à $2b$ des valeurs plus petites que le triple ou le quadruple de la longueur d'onde du rayon rouge, nous obtenons pour le spectre une seule place dans laquelle ses deux extrémités soient absorbées ; mais si l'on fait croître b de plus en plus, c'est-à-dire si on fait sans cesse avancer la fig. 2, on verra que le nombre des maxima et des minima du spectre croît indéfiniment avec b. Si l'on suppose $2b = 0{,}001$ millimètres, on obtiendra le même nombre de raies d'absorption que dans la vapeur d'iode.

» J'avais désiré de produire artificiellement le même genre de retard que le phénomène de l'absorption suppose, et j'ai été assez heureux pour réaliser d'une manière très simple l'effet d'absorption que j'avais choisi. Pour y parvenir le plus simplement possible et réussir pleinement, il faut courber une lame mince de mica, de manière à lui donner la forme d'une surface cylindrique droite, et la placer à une certaine distance d'une bougie allumée, mais à la même hauteur. La lumière réfléchie par la surface cylindrique arrive à l'œil sous la forme d'une ligne verticale brillante ; elle provient, en partie, de la première face ou de la face antérieure, en partie aussi de la seconde surface ; le retard de cette seconde portion sur la première dépend de la distance des deux faces ou de l'épaisseur de la lame de mica. Si cette épaisseur est très considérable par rapport à la longueur d'onde ; si elle surpasse, par exemple, $0{,}00025^{mm}$, la lumière réfléchie sera tout-à-fait incolore. Si on la décompose au moyen du prisme, et qu'on observe le spectre ainsi formé à l'aide d'une lunette, on verra que l'intervalle du rouge extrême au violet extrême est rempli d'une multitude de raies tout-à-fait noires, et dont le nombre augmente avec l'épaisseur du mica.

» Après avoir montré comment l'on peut expliquer un certain nombre de phénomènes d'absorption par la supposition d'une simple cause retardatrice, je devais désirer de prouver que tous les autres ont lieu par l'adjonction d'une ou de nouvelles causes de retard.

» Si nous supposons qu'un rayon de l'intensité a ayant déjà subi l'action d'un milieu retardateur, et ramené par là à l'intensité

avons dit de la lumière transmise est également vrai pour la lumière réfléchie, et que, par conséquent, les couleurs naturelles des corps s'expliquent de la même manière pour la lumière réfléchie et la lumière transmise.

Digitized by Google

$$A = \frac{a\,(1-r')^2}{\sqrt{1-2r'^2\cos 2\pi\frac{2b}{\lambda}+r'^4}}.$$

soit soumis de nouveau à une action retardatrice qui, si elle avait été seule, lui aurait donné pour intensité

$$A = \frac{a\,(1-r'')^2}{\sqrt{1-2r''^2\cos 2\pi\frac{2b'}{\lambda}+r''^2}}.$$

Il est évident que son intensité A', après les deux retards, sera

$$\frac{A\,(1-r')^2}{\sqrt{1-2r''^2\cos 2\pi\frac{2b'}{\lambda}+r''^4}}.$$

ou

$$A' = \frac{a\,(1-r')^2\,(1-r'')^2}{L.\,M.}$$

en faisant :

$$L = \sqrt{1-2r^2\cos 2\pi\frac{2b}{\lambda}+r'},$$

$$M = \sqrt{1-2r''^2\cos 2\pi\frac{2b'}{\lambda}+r''^4}.$$

» L'intensité A'', réduite par l'action de trois causes retardatrices, sera de même :

$$A'' = \frac{a\,(1-r')^2\,(1-r'')^2\,(1-r''')^2}{L.\,M.\,N.}$$

pourvu que l'on fasse encore

$$N = \sqrt{1-2r'''^2\cos 2\pi\frac{2b''}{\lambda}+r'''^4}.$$

» Il résulte de ces équations que A' ou A'' atteindront un maximum ou un minimum partiel, aussi souvent que l'un des angles

$$2\pi\frac{2b}{\lambda},\ 2\pi\frac{2b'}{\lambda},\ldots$$

Digitized by Google

atteindra une circonférence entière ; et l'on devra en conclure qu'il naîtra de là, dans le spectre résultant, autant d'absorptions qu'il y en a dans tous les spectres composants réunis. Il est facile, dès lors, de prévoir ce qui résultera de deux ou plusieurs retardements ; il suffira de procéder, comme nous l'indiquerons par un exemple.

» Concevons qu'un rayon de lumière traverse un vase rempli d'iode, et qu'on élève la température de telle sorte, que la densité de la vapeur aille rapidement en augmentant; les phénomènes d'absorption se produiront dans l'ordre suivant : à mesure que la vapeur d'iode se dégage, et que la teinte rouge vif du vase augmente, on aperçoit dans la partie bleue du spectre, ou mieux entre le bleu et le violet, quelques raies noires encore un peu pâles, mais bien dessinées. Ces raies deviennent de plus en plus noires à mesure que la couleur du vase devient plus intense, et en même temps leur nombre augmente. Si l'intensité de la couleur augmente encore, les lignes brillantes qu'on observait dans le bleu diminuent peu à peu de largeur, jusqu'à ce que l'absorption de la partie bleue du spectre soit totale. A mesure que cette absorption totale s'étend du bleu vers la portion rouge, on la voit toujours précédée par des raies noires, jusqu'à ce que la couleur atteigne une intensité telle que le spectre entier soit éteint ou absorbé, à l'exception d'un très petit espace rouge, entièrement couvert de raies noires. Ce brillant phénomène d'absorption s'explique avec la plus grande facilité et la plus grande exactitude, en supposant deux causes distinctes de retard. L'un des retardements devra être au moins égal à la longueur d'onde du rayon rouge, et l'autre cent cinquante fois plus grand. Les parties de la courbe d'intensité qui représentent le premier et le second retardement ont respectivement les formes AB, CD, déterminées par la figure précédente 3. Le résultat de leur action simultanée sera donné par la courbe EF. Pendant que la couleur de la vapeur d'iode devient de plus en plus intense, il faut admettre que r et r' croissent aussi, et que cet accroissement exerce dans son cours une influence appréciable, non seulement sur la position des maxima et des minima, mais plus encore sur la valeur absolue de l'intensité. Plus r et r' sont grands, plus l'intensité diminue. Comme nous devons supposer que la lumière, pour être efficace ou devenir visible, doit avoir une certaine intensité ; et comme nous pouvons exprimer par une longueur cette limite de la perception de la lumière, il est évident que l'accroissement de r et de r' doit abaisser la courbe des intensités au-dessous de cette ligne.

» Si maintenant nous plaçons la fig. 2 sur la fig. 3, en supposant

Digitized by Google

que la ligne A B, fig. 2, représente la limite de perception pour l'œil, nous rendrons sensible cet effet d'accroissement de r et de r', en plaçant la fig. 2 plus ou moins haut sur la fig. 3. Si la fig. 2 se trouve au-dessous de la ligne $a\ b$, on verra quelques raies apparaître dans le bleu; si elle monte en $a'\ b'$, l'extrémité du bleu sera absorbée, et les raies se montreront dans le vert; si elle monte encore en $a''\ b''$, le spectre entier sera absorbé à l'exception d'une place rouge, laquelle, à son tour, est couverte de raies. Tel est précisément l'effet produit dans le spectre par la vapeur d'iode.

» Les phénomènes d'absorption des vapeurs de brome s'expliquent exactement de la même manière. Pour rendre raison des modifications produites par le gaz nitreux et l'euchlorine, il faudra admettre un plus grand nombre de causes de retard. Cette pluralité de causes ne doit nullement nous surprendre, puisque ces derniers gaz sont composés, tandis que les premiers doivent jusqu'ici être considérées comme simples. Il est, il me semble, tout naturel d'admettre que chacun des éléments constituants d'un milieu composé doit être par lui-même une cause de retard; et si nous considérons le gaz acide nitreux comme un composé d'acide nitrique et de nitrogène, au lieu d'en faire un composé binaire d'azote et d'oxigène, on comprendra plus facilement encore comment il peut se faire qu'il renferme plus de deux causes de retard, dont chacune se produira de la même manière que dans les gaz simples.

» Sans chercher à rendre absolument compte de ces causes multiples de retard, sans prétendre assigner les propriétés que devrait posséder la matière pour leur donner naissance, je ne puis cependant ne pas mentionner en passant une circonstance qui a excité mon attention et qui mérite peut-être quelque considération.

» La plupart des gaz, lorsqu'ils viennent d'une manière quelconque à faire partie d'un agrégat nouveau, retiennent à très peu près leur couleur première. La cause retardatrice à laquelle nous attribuons la couleur du corps doit, par conséquent, être tout-à-fait indépendante du mode d'agrégation. Les autres causes retardatrices, au contraire, subissent des modifications, lorsque leur condition est changée, parce que le spectre lumineux qui a traversé un corps liquide ou solide ne doit pas présenter les raies noires qu'il aurait s'il avait traversé un gaz. Nous trouvons dans ce fait une certaine raison d'assigner la première cause de retard aux particules mêmes des corps, et la seconde à leurs distances mutuelles, parce que nous devons admettre qu'elles sont changeantes ou variables. Nous ne pouvons imaginer une réflexion de lumière dans l'intérieur d'une molécule, ou une sorte de propagation de lumière

Digitized by Google

à travers sa substance, aussi longtemps que nous considérons cette molécule comme simple. Nous arrivons ainsi à une confirmation probable de l'hypothèse qui admet, comme le voulait Ampère dans son explication des phénomènes de la chaleur, que les corps consistent dans des groupes similaires d'atomes simples, hypothèse qu'Herschell, en la considérant sous un autre point de vue, a présentée comme probable. Quoi qu'il en soit, nous ne pensons pas nous montrer trop hardi en affirmant que nous trouverons dans les observations sur l'absorption de la lumière une voie nouvelle ouverte aux recherches sur la constitution de la matière, voie nouvelle qui conduira peut-être à des résultats qu'on n'aurait pas pu atteindre autrement.

» Les autres faits énumérés par Brewster, comme demeurant sans explication dans la théorie des ondulations, sont expliquées avec la plus extrême facilité dans l'hypothèse que nous avons adoptée.

» Dans le spectre lumineux qui a traversé l'oxalate de chrome et de potasse, toutes les couleurs sont absorbées à l'exception du rouge, qui est sillonné de raies noires. M. Brewster énonce ce fait comme une conséquence de cet autre : l'oxalate permet à l'éther qu'il renferme de vibrer librement pour le rayon rouge, dont l'indice de réfraction dans le flint-glas est de 1,6272, et aussi pour un autre rouge dont l'indice de réfraction serait 1,6274, tandis qu'il est absolument opaque, ou que ses particules éthérées ne vibrent pas du tout pour un rouge intermédiaire dont l'indice de réfraction serait 1,6273.

» Présenté sous cette forme, le fait en question ressemble certainement à un paradoxe; il est cependant facile à expliquer si l'on suppose deux retardements : l'un sensiblement égal en grandeur à la longueur d'onde du rayon rouge, l'autre plus grand, dix fois plus grand par exemple. Par suite du premier retard, la courbe d'intensité prend la forme A B, fig. 4; par suite du second, elle prend la forme C D; la résultante de ces deux courbes a la forme E F. Si, d'ailleurs, nous considérons G H comme la limite de la perception de l'œil, nous obtiendrons un spectre parfaitement identique à celui décrit par Brewster.

» Les phénomènes qui se manifestent dans le spectre des flammes colorées sont indubitablement en rapport avec ceux que nous avons considérés jusqu'ici, et s'expliquent de la même manière que les phénomènes d'absorption. Mais, en outre de l'hypothèse de retardement, nous devons toujours faire une seconde supposition, à savoir, que certaines flammes ne peuvent produire qu'une lumière

Digitized by Google

d'une certaine longueur d'ondulations, ou du moins que la lumière émise par elles est renfermée entre certaines limites plus resser-

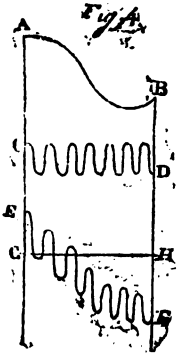
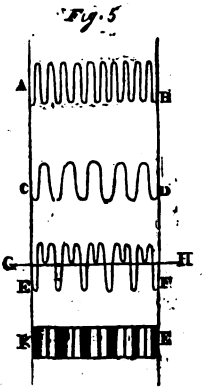


Fig. 5



rées que le rouge et le violet du spectre solaire. Plusieurs des apparences observées dans la lumière des flammes n'ont point d'autre cause. Telle est par exemple, l'origine de la raie brillante, couleur orangée, que l'on observe dans le spectre d'une bougie ordinaire. Si l'on étudie ce spectre, on voit qu'il se compose de plusieurs portions tout-à-fait inégales. La zone intérieure brillante contient, comme on le sait, des molécules à une température élevée, qui ne subissent une véritable combustion que lorsqu'elles arrivent au bord extérieur, ou qu'elles sont en contact avec l'air. La zone extérieure est tout différemment constituée: aussi a-t-elle une tout autre apparence; sa lumière est faible et présente une couleur orangée bien tranchée. La plus basse portion de la flamme est, au contraire, bleue, et ressemble, sous plus d'un rapport, à celle qui résulte de la combustion lente du carbone. Comme cette flamme prend naissance à un point où la mèche arrive au contact de l'air, je regarde comme très probable qu'elle a sa source dans la combustion lente de cette mèche.

» Si l'on place une lentille convexe entre la flamme et l'ouverture à travers laquelle la lumière vient tomber sur le prisme, on pourra présenter tour à tour à l'ouverture chacune des portions de l'image de la flamme, en déplaçant la lentille, et étudier ainsi toutes leurs particularités. Supposons qu'on ait fait mouvoir l'image agrandie de telle sorte que son bord extérieur seul arrive à l'ouverture, et que, par conséquent, la seule lumière de la zone extérieure puisse la traverser; l'on verra que le spectre ne contient qu'une partie de

Digitized by Google

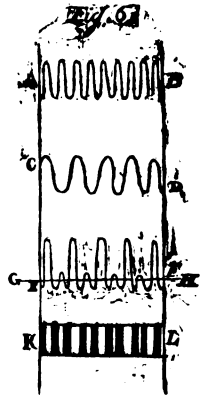
la bande orangée. Si l'on fait varier la largeur de couverture, on verra que le faisceau orangé varie dans la même proportion, de sorte qu'il se moule complétement sur l'ouverture.

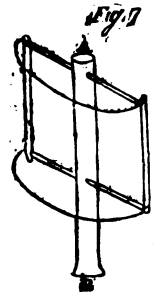
» Si nous disposons l'image de la flamme de telle sorte que la portion lumineuse intérieure arrive à l'ouverture, on obtient un spectre complet; et ce spectre est d'autant plus brillant que la lumière transmise touche de plus près au centre de la flamme, et, en même temps, la bande orangée décroît de plus en plus. Nous concluons de là que la zone intérieure émet une lumière de toutes les longueurs d'ondulations possibles; que la zone extérieure, au contraire, donne une lumière d'une longueur d'onde unique, c'est-à-dire une lumière complétement homogène. Si l'on regarde une flamme à travers un prisme, sans la contraindre à passer par une ouverture étroite, on obtient naturellement un spectre irrégulier qui contient toutes les couleurs; mais on y distingue parfaitement une image orangée de la flamme produite par la lumière homogène de la zone extérieure. Si l'on déplace l'image de la flamme de sorte que la seule portion inférieure bleue tombe sur l'ouverture, on obtient un spectre qui contient seulement du violet, du bleu et du vert; mais en même temps on discerne trois maxima tout-à-fait apparents, disposés régulièrement, et que l'on explique en supposant un retard égal à dix ou douze fois la longueur d'onde lumineuse.

» L'un des plus singuliers spectres de ce genre est, sans contredit, celui qui provient de la combustion de l'alcool mêlé à une dissolution de chlorhydrate de cuivre. Ce spectre est sillonné de bandes brillantes disposées de telle sorte qu'elles se montrent toujours par paires; une bande noire isole les deux bandes de chaque paire; les diverses paires sont séparées par une bande plus large, comme dans K L, fig. 5. Pour expliquer ce phénomène, il suffit d'admettre deux retardements, dont l'un soit deux fois plus grand que l'autre, et tellement disposés que les maxima du plus petit coïncident avec les minima du plus grand. La courbe d'intensité aura dans le premier cas la forme A B; dans le second la forme C D. La courbe résultante aura, par conséquent, la forme E F. Si G H représente la limite de perception de l'œil, il est évident que le spectre se montrera sous l'apparence K L. Supposons, au contraire, que les maxima des deux retards composants coïncident; que l'une des courbes ait la position A B, fig. 6; l'autre, la position C D, la résultante aura la forme E F; et si G H représente de nouveau la limite de perception de l'œil, il est clair que le spectre produit contiendra des

Digitized by Google

bandes noires distribuées par paires de deux bandes que sépare une raie brillante, comme on le voit en K L, fig. 6 (1).





» De même que nous avons pu produire avec une seule lame de mica le phénomène de l'absorption dépendant d'un seul retardement, on pourra réaliser avec deux lames le résultat de deux retards. Pour y parvenir, il suffira de faire qu'avant d'arriver au prisme, la lumière réfléchie par une première plaque de mica ait été réfléchie par une seconde. D'après ce que nous avons démontré, le spectre ainsi obtenu contiendra toutes les raies d'absorption que chaque retard, pris séparément, amènerait.

» La méthode suivante est la plus simple de celles qu'on peut em-

(1) Si, dans la formule (8), on fait $b' = 1/2\, b$, il est évident que les maxima ou les minima correspondant à b' coïncideront avec les minima de b. Le cas ci-dessus mentionné, de la distribution par paires des bandes brillantes, ne peut, par conséquent, avoir lieu lorsque l'un des retards est exactement le double de l'autre; il est plus probable que dans un cas semblable les bandes apparaissant par paires seront noires. Il est toutefois évident qu'il suffit d'augmenter le plus grand des retards d'une seule longueur d'onde pour obtenir que le maximum correspondant coïncide avec un minimum.

Les autres maxima et minima ne coïncideront pas, il est vrai, complétement; mais ils seront évidemment d'autant plus rapprochés que le retard sera plus grand. Si donc il devient quelque peu considérable, les irrégularités seront si petites que l'œil ne pourra pas les apprécier. On peut supposer que dans la flamme de chlorhydrate de cuivre le plus petit retard s'élève à quarante longueurs d'onde du rayon rouge, ou à soixante longueurs d'onde violette; il suffira d'augmenter d'un 1/80e ou d'un 1/120e le double de cette valeur pour avoir le plus grand des retardements.

Digitized by Google

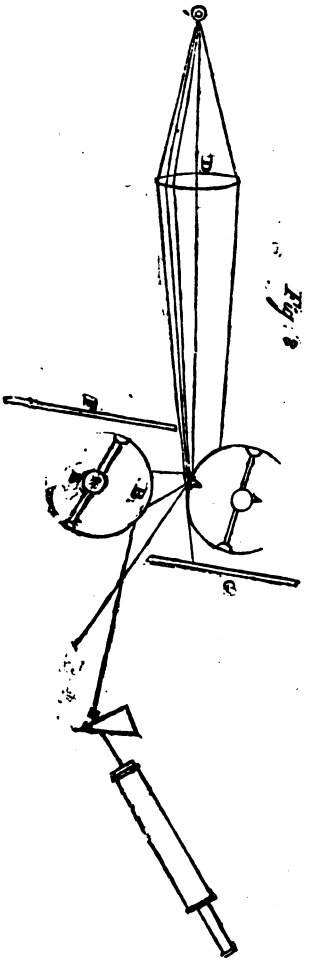
ployer pour réussir dans cette expérience, laquelle, à la vérité, n'explique rien, mais reste, dans tous les cas, une belle expérience de physique. J'ai pris une plaque de mica dont les faces, en outre qu'elles étaient sans défaut aucun, étaient inclinées l'une sur l'autre, de sorte que la plaque était plus épaisse à l'un des bords qu'à l'autre. Parmi les lames de mica que j'ai expérimentées, il en est une qui possède ces deux propriétés dans un haut degré. J'ai courbé cette plaque en cylindre droit, et je l'ai placée de sorte que la lumière était réfléchie sur le prisme par le bord épais ; j'obtins de cette manière un spectre parfaitement régulier, sillonné par plus de 120 raies noires. En faisant tourner le cylindre autour de son axe, de manière à rapprocher successivement l'élément réfléchissant de l'autre bord mince, je voyais croître les distances entre les raies, pendant que leur nombre diminuait ; et à la fin, le bord mince ne donnait guère plus de vingt raies. Pour amener plus facilement le cylindre à la position désirée, je l'attachais à une petite colonne cylindrique, fig. 7, fixée au plan horizontal par de la cire ou une autre substance applicative.

» Pour produire des spectres qui continssent deux séries de raies d'absorption, je plaçais de la même manière en A et en B, fig. 8, pag. 76, deux surfaces cylindriques de mica. La lumière de la lampe C, concentrée au moyen d'une lentille convexe D, arrivait au premier cylindre A ; de ce premier cylindre elle était réfléchie au second B, et parvenait ensuite au prisme E. On empêchait la lumière de tomber directement sur la surface B au moyen d'un écran mobile F ; un second écran G empêchait la lumière d'arriver immédiatement du cylindre A au prisme. En faisant tourner les deux cylindres sur leurs axes, on faisait varier à volonté le rapport des deux retards, et l'on changeait ainsi indéfiniment l'aspect du phénomène d'absorption, le nombre et la disposition des raies, etc., etc. On ne peut obtenir par cette méthode des retards vraiment très petits, par exemple, ceux qui sont moindres qu'une longueur d'onde, parce qu'il est pour ainsi dire impossible de donner aux lames de mica le degré suffisant de ténuité.

» Pour arriver à reproduire expérimentalement ces phénomènes d'absorption dans des circonstances où l'on doit supposer que les retards sont très petits, j'emploie des fluides colorés renfermés dans un tube cylindrique entre deux plans de verre dont on peut faire varier la distance à volonté. J'ai complétement imité ainsi, au moyen d'un fluide rouge absorbant et d'une lame de mica, non seulement le spectre des vapeurs d'iode, mais aussi celui qui se forme au moyen de l'absorption dans l'oxalate de chrome et de potasse. Dans ces expériences on peut faire varier les grandeurs

Digitized by Google

r', r'' jusqu'à un certain degré, et par conséquent la largeur des raies noires peut être changée à proportion de la largeur des raies brillantes. Pour obtenir ce résultat, il suffit de faire tomber de la lumière sur une surface cylindrique sous des angles d'incidence successivement différents. Il est évident, en effet, que la proportion



entre les quantités de lumière réfléchies, sous la première et la deuxième incidence, doit être d'autant plus grande que l'angle d'incidence est plus petit.

» Voulons-nous produire des absorptions avec une petite différence entre les intensités *maximo* et *minima*, il suffit de faire passer la

Digitized by Google

lumière à travers une lame de mica au lieu de la faire réfléchir. Dans cette expérience, la proportion de lumière transmise peut varier entre des limites très éloignées, si l'on change convenablement l'angle d'incidence.

» Le plus complexe de tous les phénomènes d'absorption est incontestablement celui qui nous montre le spectre solaire avec ses raies noires en si grand nombre et si irrégulièrement distribuées, tantôt plus fortes, tantôt plus faibles les unes que les autres. Si nous supposons avec Herschell que ces raies proviennent d'absoptions qui ont lieu dans les atmosphères du soleil et de la terre, il devient aisé de les expliquer d'après les principes que nous avons déjà posés.

» Quoique je n'aie encore fait aucune expérience dans le but de déterminer si la pression plus ou moins forte des gaz influe sur la position des lignes d'absorptions qui s'y forment, et dans quelle mesure cette influence a lieu, je crois cependant qu'il est très probable qu'elles en ont une considérable. En admettant pour un moment que cette influence soit réelle, il est évident que la lumière en traversant deux atmosphères, dont la densité varie avec la distance à leurs astres respectifs, doit éprouver un nombre indéfini de retards inégaux qui donnent lieu chacun à une certaine série de *maxima* et de *minima*. La cause du nombre des raies noires, comme aussi celle de leur position irrégulière, est donc très facile à concevoir. Mais la différence énorme (au moins en apparence) entre les intensités *maxima* et *minima* demande une explication particulière, que je vais maintenant essayer de donner. Jusqu'ici nous avons considéré seulement deux surfaces réfléchissantes; il est cependant évident que, dans l'hypothèse dont nous sommes parti, nous devons supposer une série de surfaces semblables qui seront d'autant plus nombreuses que l'épaisseur du milieu absorbant sera elle-même plus considérable. Si nous appelons comme précédemment a l'intensité primitive de la lumière, r la fraction perdue à chaque réflexion, et m le nombre des surfaces réfléchissantes, nous verrons aisément que les intensités des systèmes d'onde de lumière seront, en négligeant les termes multipliés par r^4, r^6, etc.,... (1), transmis celles que présente le tableau suivant.

(1) Quand l'épaisseur du milieu absorbant est considérable, m doit être un grand nombre, et par conséquent r doit être très petit, car autrement aucune portion considérable de lumière ne pourrait traverser les m surfaces. Tous les membres qui sont multipliés par r^4, ou par une puissance encore plus élevée de r, doivent alors être tellement petits en comparaison de ceux qui sont multipliés par r^2, qu'on peut les négliger.

Digitized by Google

» Ainsi, les intensités des rayons transmis sont :

$a(1-r)^m$	pour un retard 0
$(m-1)r^2.\ a(1-r)^m$	$2b$
$(m-2)r^2.\ a(1-r)^m\,(1-r)^2$	$4b$
$(m-3)r^2.\ a(1-r)^m\,(1-r)^4$	$6b$
$(m-4)r^2.\ a(1-r)^m\,(1-r)^6$	$8b$
. . . . .	..
$(m-n)r^2.\ a(1-r)^m\,(1-r)^{2(n-1)}$	$2nb$

Nous aurons par conséquent :

$$u = a(1-r)^m.\ \sin 2\pi\left(t - \frac{x}{\lambda}\right),$$

et semblablement u_1, u_2, u_3,... u_n. Si nous calculons au moyen de ces vitesses la résultante de tous les systèmes d'ondes lumineuses retardés, c'est-à-dire tous ceux précisément que nous venons de citer, à l'exception du premier, nous aurons pour la valeur U′ de la vitesse correspondante

$$U' = A'.\ \sin\left[2\pi\left(t - \frac{x}{\lambda}\right) - i\right]$$

équation de laquelle il résulte que A′ est l'intensité du système résultant des ondes lumineuses.

» Si nous appelons U la vitesse du système résultant de tous les rayons transmis, nous aurons :

$$U = u + U'.$$

L'on ramène cette équation à la forme

$$U = A.\ \sin\left[2\pi\left(t - \frac{x}{\lambda}\right) - i\right],$$

et A, qui doit alors exprimer l'intensité de la résultante totale, se détermine d'après la méthode connue, en fonction de A′ et de cos i. Une suite de calculs assez longs conduit à trouver la valeur *approchée* de A′ et celle de cos i. En substituant pour A′ est cos i les valeurs trouvées, on arrive enfin à la formule :

$$A = a(1-r)^m\,\frac{\sqrt{1+2[mr^2-(1-r)^2]\cos q+[mr^2-(1-r)^2]^2}}{\sqrt{1-2(r-1)^2\cos q+(1-r)^4}}$$

dans laquelle q remplace pour abréger $2\pi\,\frac{2b}{\lambda}$.

Digitized by Google

Si nous différencions cette expression par rapport à q, nous voyons clairement que A devient un *maximum* ou un *minimum* aussi souvent que $\sin q = 0$, c'est-à-dire que A devient un *maximum*,

$$\text{quand } \frac{2b}{\lambda} \text{ est égal à } 0, 1, 2, 3, 4, \ldots \text{ etc.},$$

et un *minimum*

$$\text{quand } \frac{2b}{\lambda} \text{ est égal à } 1/2, 3/2, 5/2, 7/2, 9/2, \ldots \text{ etc.},$$

c'est-à-dire dans toutes les mêmes circonstances que s'il y avait seulement deux des surfaces réfléchissantes que nous avions d'abord supposées.

» De là il suit que

$$\text{A maximum} = a(1-r)^m\left(1+\frac{mr^2}{1-(1-r)^2}\right)$$

et

$$\text{A minimum} = a(1-r)^m\left(1-\frac{mr^2}{1+(1-r)^2}\right)$$

Si nous comparons les intensités *maximum* et *minimum* l'une avec l'autre, nous avons :

$$\frac{\text{A max.}}{\text{A min.}} = \frac{2r+mr^2}{1+(1-r)^2-mr^2}\cdot\frac{1+(1-r)^2}{2r}$$

Si l'on remarque maintenant que r doit être une quantité extrêmement petite, la formule ci-dessus se réduit à :

$$\frac{\text{A max.}}{\text{A min.}} = 1+\frac{mr}{2}.$$

» On voit donc que le rapport des intensités *maximum* et *minimum* croît avec m, c'est-à-dire avec la densité du milieu absorbant. Ceci nous donne une raison de la différence considérable qu'il y a entre les *maxima* et les *minima* du spectre solaire, lorsque les atmosphères du soleil et de la terre sont les milieux absorbants. Il y a, toutefois, plusieurs circonstances qui, nous le croyons, rendent très incertain le rapport des intensités *maxima* et *minima*. Les flammes de nos lumières, qui suffisent pour éclairer notre chambre le soir, deviennent presque entièrement invisibles dans le jour lorsqu'elles sont exposées à la lumière du soleil. Pareillement, lorsque,

Digitized by Google

par une soirée obscure, nous sortons d'une chambre éclairée, les ténèbres nous semblent si profondes que nous pouvons à peine distinguer les objets environnants : après quelques instants nous les apercevons parfaitement bien. Les corps célestes, qui la nuit brillent avec tant d'éclat, mais qui sont tout-à-fait invisibles le jour, offrent un second exemple du même phénomène. De plus, nous savons que l'œil lui-même se dispose ou se modifie définitivement suivant la plus ou moins grande quantité de la lumière. La contraction et l'extension de la pupille ne sont pas très vraisemblablement les seuls changements que l'œil éprouve dans cette circonstance ; car il est très probable à mes yeux que la rétine elle-même a la propriété de devenir plus ou moins irritable ou sensible. Cette raison explique facilement comment la différence des intensités *maxima* et *minima* pourrait nous paraître très grande sans qu'elle le fût réellement, et comment les intensités de la lumière dans les raies noires pourraient être très considérables, quoique la proximité des raies plus brillantes s'opposât à ce que notre œil perçût cette lumière.

» J'ai déjà fait les préparatifs nécessaires pour prouver par l'expérience l'identité des phénomènes d'absorption avec ceux qui doivent résulter des hypothèses que j'ai mises en avant pour les expliquer, et je vais exposer maintenant en peu de mots les formules que demandent de semblables expériences. J'ai déjà prouvé que, lorsque de la lumière de toute longueur d'onde traverse un milieu qui occasionne un retard c, les intensités de toutes les lumières dont la demi-longueur d'onde est :

$$c, \frac{c}{3}, \frac{c}{5}, \frac{c}{7}, \frac{c}{9}, \ldots \frac{c}{2m-1}, \frac{c}{2m+1} + \ldots$$

deviennent *maxima*.

» Pour en conclure actuellement une formule donnant les *minima* qui doivent provenir du retard c, dans un spectre dont les limites extérieures sont α, la plus grande, et β, la plus petite, je désigne leur nombre par s, et je suppose $\frac{1}{2}\alpha$ compris entre :

$$\frac{c}{2m-1} \text{ et } \frac{c}{2m+1} ;$$

ainsi :

$$\frac{1}{2}\alpha < \frac{c}{2m-1}, \text{ et } \frac{1}{2}\alpha > \frac{c}{2m+1},$$

Digitized by Google

en outre, je suppose :

$$\frac{1}{2}\beta \left\langle \frac{c}{2(m+s)-1}, \text{ et } \frac{1}{2}\beta \right\rangle \frac{c}{2(m+s)+1}.$$

Nous tirons de là :

$$2m-1 \left\langle \frac{2c}{\alpha}, \text{ et } 2m+1 \right\rangle \frac{2c}{\alpha},$$

ou

$$m \left\langle \frac{c}{\alpha}+\frac{1}{2}, \text{ et } m \right\rangle \frac{c}{\alpha}-\frac{1}{2};$$

m sera par conséquent le plus grand nombre entier que contient

$$\left(\frac{c}{\alpha}+\frac{1}{2}\right).$$

Nous avons de la même manière :

$$m+s \left\langle \frac{c}{\beta}+\frac{1}{2}, \text{ et } m+s \right\rangle \frac{c}{\beta}-\frac{1}{2},$$

s sera dès lors le plus grand nombre entier compris dans

$$\left(\frac{c}{\beta}+\frac{1}{2}\right) - \text{celui compris dans } \left(\frac{c}{\beta}-\frac{1}{2}\right).$$

» Si, au contraire, nous supposons d'avance connu le phénomène d'absorption et que nous recherchions la grandeur du retard qui l'occasionne, nous pouvons d'abord déterminer d'une manière ou d'une autre les longueurs d'ondes correspondantes à la lumière de deux *minima*. Si j'appelle ceux-ci α' et β', et $s-1$ le nombre des absortions intermédiaires, (s désignant le nombre ordinal du minimum dont la longueur d'ondulation β', calculé d'après celui dont la longueur d'ondulation est α'), et si je suppose que

$$\frac{c}{2m'-1}=\frac{1}{2}\alpha', \quad \frac{c}{2(m'+s)-1}=\frac{1}{2}\beta',$$

nous aurons :

$$c=\alpha'\left(m'-\frac{1}{2}\right)=\beta'\left[(m'+s)-\frac{1}{2}\right],$$

d'où

$$m'=\frac{\beta' s}{\alpha'-\beta'}+\frac{1}{2},$$

Digitized by Google

et par conséquent :

$$e = \frac{\alpha'\beta's}{\alpha' - \beta'}.$$

» Quand c est donné, il est aisé de déterminer la différence δ entre les longueurs d'onde de deux *minima* consécutifs, savoir γ et $\gamma - \delta$.

Si nous supposons

$$\frac{c}{2m'-1} = \frac{1}{2}\gamma \text{ et } \frac{c}{2m'+1} = \frac{1}{2}(\gamma - \delta),$$

nous avons :

$$m' = \frac{c}{\gamma} + \frac{1}{2} \text{ et } \delta = \frac{\gamma^2}{c+\gamma}.$$

» Pour une autre longueur d'ondulation γ', nous obtenons de la même manière :

$$\delta' = \frac{\gamma'^2}{c+\gamma'},$$

et par conséquent :

$$\delta : \delta' :: \frac{\gamma^2}{c+\gamma} : \frac{\gamma'^2}{c+\gamma'}.$$

Si c est très considérable, $\frac{1}{c+\gamma}$ est sensiblement égal à $\frac{1}{c+\gamma'}$, et alors nous avons à très peu près :

$$\delta : \delta' :: \gamma^2 : \gamma'^2,$$

formule au moyen de laquelle on peut faire la comparaison entre les résultats des phénomènes observés et les résultats du calcul.

» L'emplacement dansl equel j'ai fait jusqu'ici mes expériences ne m'a pas permis de faire une évaluation exacte des lignes fixes que présente le spectre solaire, quoique ce soit le moyen le plus sûr de déterminer la relation qui lie la réfrangibilité à la longueur d'onde, parce qu'alors on peut faire usage des calculs exacts de Fraunhofer. J'ai pu seulement décider que, pour l'air, la couleur correspondait vraiment à la longueur d'ondulation. Les calculs que j'ai faits jusqu'ici, dans ce but, ne peuvent être considérés que comme des approximations : aussi ne les présenterai-je pas ici. Malgré ce qu'ils offrent d'incomplet, ils m'ont pleinement convaincu que les phénomènes d'absorption et ceux qui doivent résulter des hypo-

Digitized by Google

thèses que j'ai émises sont identiques. Un exemple de cette identité est cependant digne d'être mentionné, quoique le calcul, je le répète, ne puisse être considéré que comme une approximation. Dans le spectre donné par des vapeurs d'iode, quinze raies occupaient 9′ 30″ depuis l'orangé jusqu'au rouge; dix raies entre le jaune et le vert occupaient 5′ 30″; il faut donc supposer que la distance entre deux raies voisines à la limite du rouge et de l'orangé est de 38″, et qu'à la limite du jaune et du vert elle est de 31″. Or si, maintenant, dans la formule

$$\delta : \delta' :: \gamma^2 : \gamma'^2$$

nous mettons pour γ et γ', les deux longueurs d'ondes correspondantes à ces limites, et qui sont 0,0000246 et 0,0000219 de pouce anglais, d'après la table d'Herschell, nous avons :

$$\delta : \delta' = 38 : 30{,}6.$$

» Il est d'ailleurs évident de soi que par la longueur d'ondulation d'une couleur, j'entends parler de la longueur d'ondulation *dans le milieu absorbant;* et comme, dans les exemples mentionnés, les longueurs d'ondulation ont été prises comme si elles avaient été calculées dans l'air, et que de plus j'ai comparé les carrés des longueurs d'ondulation avec la distance de deux *minima* consécutifs, au lieu de les comparer avec les deux longueurs d'ondulation correspondantes, ce qui revient en réalité à supposer que la réfrangibilité d'une couleur est proportionnelle à sa longueur d'ondulation, cet exemple peut bien être considéré comme ne prouvant rien, si ce n'est que le raisonnement et l'expérience sont d'accord pour montrer que les lignes d'absorption dans la couleur verte sont plus serrées les unes contre les autres que dans la couleur rouge.

» Je dois faire observer, en terminant, qu'encore bien que j'aie considéré le retard comme provenant *seulement* de la réflexion entre deux particules, je conçois aussi aisément la possibilité que cette idée puisse être inexacte, et que tous les retards puissent provenir de causes qui nous sont encore entièrement inconnues. Mais je crois avoir établi par cet exposé que les phénomènes d'absorption peuvent se ramener à un principe mathématique simple, et que ces phénomènes, en tant qu'appartenant proprement aux corps absorbants, dépendent de certaines grandeurs déterminées, qui peuvent être données d'une manière absolue; d'ailleurs un examen plus approfondi de ces phénomènes, quelle qu'en puisse être la cause, doit toujours être d'un haut intérêt.

Digitized by Google

CONCLUSIONS.

Tous les matériaux nécessaires à l'explication des couleurs sont maintenant réunis : nous avons cru devoir reproduire intégralement les théories de Bénédict Prévost, d'Euler, de M. le baron de Wrede, parce que chacune dans son genre ouvre un champ nouveau, se distingue par des aperçus vraiment fondamentaux, etc., etc. Elles se complètent d'ailleurs l'une l'autre ; la vérité ressort de leur ensemble. Il nous suffira maintenant de quelques lignes pour jeter, il nous semble, un grand jour sur cette belle question. Résumons sous ce point de vue cette longue dissertation.

Il résulte de tout ce que nous venons de dire :

1° Que les couleurs, qui sont des formes particulières des rayons lumineux, ont pour cause efficiente, pour raison dernière, les vibrations plus ou moins fréquentes, quoique toujours infiniment rapides, d'un fluide très subtile et très élastique, dont la densité est presque nulle, l'élasticité presque infinie. Les diverses couleurs prises séparément sont constituées par des ondes éthérées dont la longueur d'ondulation varie d'une couleur à l'autre. Le professeur italien Masotti croit avoir démontré, dans un mémoire récent, que les longueurs d'onde du rouge et du violet extrême sont dans le rapport remarquable de 2 à 1.

Les autres couleurs correspondent à des longueurs d'ondes intermédiaires entre ces deux nombres. Les couleurs d'ailleurs peuvent être simples ou composées, suivant qu'elles résultent de plusieurs mouvements ondulatoires identiques ou différents. Elles diffèrent entre elles par le ton ou la teinte, l'intensité ou l'éclat, le timbre ou la nuance. L'opinion de M. Brewster, qui n'admet dans le spectre que trois couleurs primitives distinctes, dont le mélange donnerait naissance à toutes les autres teintes, n'est appuyée par aucune preuve concluante, et n'est pas même probable. Le mode d'analyse par un prisme transparent est aussi vrai que naturel ; le procédé d'analyse par les corps absorbants est irrationnel et essentiellement défectueux.

2° Les couleurs des corps sont accidentelles et variables, ou essentielles et permanentes. Il y a dans la nature trois grandes sources de couleurs accidentelles et variables : la réfraction, comme dans les couleurs de l'arc-en-ciel, du prisme, du diamant à facettes, etc. ; la diffraction, qui donne aux plumes des oiseaux leurs brillantes nuances, à l'agate ses beaux reflets, aux surfaces à stries très serrées leurs magnifiques réseaux, etc., etc. ; l'interférence, que re-

Digitized by Google

produit en mille circonstances les couleurs des lames minces, etc.

3° L'opinion qui ramène les couleurs permanentes des corps aux couleurs des lames minces n'est nullement vraisemblable ; elle est réfutée par mille expériences, mille raisonnements qui la renversent de fond en comble.

4° Il est dès lors inexact de dire que les couleurs des corps sont dues à une vraie réflexion, avec interférence superficielle, comme dans les lames minces ; elles supposent, au contraire, essentiellement de la part des corps, comme l'a prouvé Bénédict Prévost, une véritable radiation. La lumière qui nous montre les corps colorés sort de l'intérieur de ces corps par une véritable diffusion ; cette couleur est d'autant plus intense que la réflexion régulière est plus détruite. La réflexion régulière ne peut produire par rapport aux couleurs qu'un phénomène analogue à l'*écho*, qui ne s'entend que d'un point déterminé : mais en outre de l'écho, il y a la *résonnance* d'un corps mis en vibration par communication de mouvement, et qui se fait entendre sur tous les points. Les couleurs permanentes des corps sont le produit d'une vraie *résonnance lumineuse.*

5° Il faut donc admettre avec Euler « que les couleurs résultent du mouvement vibratoire qu'éprouvent les particules éthérées des corps, par suite de l'accord existant entre ce que nous pouvons appeler leurs propres tensions, et les périodes des ondulations incidentes : les corps dont les molécules éthérées vibrent avec la même facilité sous l'action des ondulations lumineuses d'une longueur quelconque sont blancs ; les substances colorées, au contraire, celles qui vibrent avec plus d'intensité sous l'influence d'une ou de plusieurs espèces d'ondulation, en se montrant moins sensibles aux autres. Un corps est rouge, vert ou bleu, selon que la *tension* de ses particules éthérées se trouve plus *consonnante* avec la période vibratoire des ondulations rouges, vertes ou bleues ; d'où il suit nécessairement qu'une substance dont les particules éthérées vibrent mieux par l'action de telle ou telle autre ondulation lumineuse est nécessairement colorée (1). »

(1) J'ai emprunté à dessin cette exposition abrégée du système d'Euler à M. Melloni, qui s'est rallié à l'opinion de l'immortel géomètre. M. Melloni, seulement, par mégarde sans doute, au lieu d'attribuer le mouvement aux *particules éthérées* des corps, l'attribue *aux molécules pondérables de la matière*, ce qui me paraît vraiment incroyable. Tout le monde doit admettre, il me semble, que les molécules pondérables en vibrant donnent naissance aux phénomènes du son et non de la lumière. Euler était moins inexact quand il disait *petites particules des corps*. Nous reviendrons bientôt, au reste, sur ces

Digitized by Google

6° Mais ce n'est pas assez encore ; la lumière, en tombant sur un corps, en mettant en vibration ses molécules éthérées, subit de la part de ce corps une sorte de réaction qui se manifeste par des modifications profondes : une lumière primitive, même blanche, non seulement se métamorphose en lumière colorée, mais encore devient comme discontinue, sillonnée qu'elle est par une série de raies correspondantes à des maxima et minima d'intensité lumineuse. Il fallait étudier cette influence merveilleuse : c'est ce qu'ont fait MM. Ermann et de Wedre. Ce dernier, dans le mémoire que nous avons reproduit, nous a montré d'une manière sensible comment toutes les raies obscures, toutes les nuances de couleurs, la transparence ou l'opacité plus ou moins complète, pouvaient résulter d'une source unique ; une sorte particulière d'interférence, de retards éprouvés par certaines séries d'ondes renvoyées par les corps dans l'acte de la réflexion diffuse.

M. Ermann, aussi, avait affirmé que les couleurs permanentes des corps avaient leur cause dans l'interférence de la lumière réfléchie à la surface des corps, avec celle qui, avant son retour, et suivant la nature de la substance, y aurait plus ou moins pénétré ; que les lignes obscures ou déficientes du spectre sont une suite de la production des couleurs. Il serait singulier que cette théorie vraie des couleurs fût, comme le dit M. Ermann, la théorie énoncée autrefois par Newton, mais sous une forme imparfaite, parce que les données de la théorie des ondulations n'existaient pas encore.

7° Enfin, les théories d'Euler et de Bénédict Prévost sont devenues plus certaines encore depuis que M. Arago est venu les appuyer de son autorité et des plus ingénieuses expériences. Voici un résumé succinct de la communication si intéressante faite par l'illustre secrétaire perpétuel dans la séance du 14 octobre 1844.

En analysant avec son polariscope la lumière émanée obliquement des corps incandescents, M. Arago avait reconnu depuis longtemps entre les solides et les gaz une différence essentielle. La lumière émise par les corps solides est polarisée par réfraction, ce qui prouve qu'elle émane en partie des couches intérieures du solide : la lumière envoyée par les gaz est toujours naturelle ou sans polarisation. Ce qui a rendu cette découverte optique si célèbre, c'est l'application que M. Arago en a faite lui-même à la détermination de la constitution physique du soleil, prouvant que la lumière de cet astre émane d'une atmosphère gazeuse, puisqu'elle n'est pas po-

distinctions, quand nous étudierons *ex professo* la différence qui existe entre les phénomènes du son, de la lumière, de la chaleur, de l'électricicité, etc...

Digitized by Google

larisée par réfraction. L'emploi du polariscope à la recherche de la nature de la lumière qui nous rend les corps visibles et des couleurs a conduit M. Arago à des conséquences non moins remarquables.

Si l'on fait tomber un faisceau lumineux sur une surface blanche et polie, telle qu'une lame de verre opalin, la surface ainsi éclairée envoie à l'œil de la lumière dans deux conditions distinctes, suivant la direction sous laquelle on la regarde. Sous un certain angle, on voit de la lumière réfléchie spéculairement, et qui n'a en quelque sorte fait que rebondir sur la surface : dans toutes les autres directions, on voit une lumière terne qui émane de la surface en se dispersant. Quelle est cette lumière ainsi dispersée? Est-ce une partie du faisceau incident qui s'est brisée pour ainsi dire en éclats, repoussée par les mille molécules ou facettes invisibles dont la surface des corps est hérissée, ou bien est-ce, comme le supposait Euler, le produit d'une sorte d'incandescence suscitée au sein même des corps par l'ébranlement lumineux des rayons incidents? Telle est la question délicate qui était posée aux physiciens, et que M. Arago est venu résoudre de la manière la plus nette.

Avant tout, il faut savoir si la lumière dispersée émane de la couche superficielle ou des couches intérieures. Cette première question est tranchée tout d'abord à l'aide du polariscope. En effet, si l'on analyse successivement la lumière réfléchie spéculairement, et la lumière dispersée, on trouve que ces deux lumières sont polarisées en sens inverse. Comme la première est certainement réfléchie, il faut que la seconde ait été réfractée, et que, par conséquent, elle émane de l'intérieur du corps.

Il reste à savoir en second lieu quelle est l'origine réelle de cette lumière réfractée ; si elle est une partie du faisceau incident qui, après avoir pénétré dans la masse, en émerge aussitôt, ou bien si elle a été produite au sein même du corps illuminé. C'est cette seconde hypothèse qui est la vérité, et voici comment M. Arago le démontre. Il éclaire la lame de verre opalin par un faisceau exclusivement polarisé, et il arrive que le corps ainsi éclairé renvoie dans son polariscope de la lumière polarisée en sens contraire. Ainsi, plus de doute : la lumière qui se disperse à la sortie des corps éclairés a été créée par ces corps eux-mêmes, et il nous faut admettre avec Euler deux sortes de phosphorescences : l'une propre à certaines substances, qui persiste encore après que la lumière qui l'a provoquée a cessé d'agir ; l'autre, générale, éphémère et constituant au moins pour une partie le phénomène de la dispersion et des couleurs.

Digitized by Google

Voilà tout ce qui jusqu'ici a été communiqué au monde savant des études si importantes de M. Arago. Nous pourrions entrer dans plus de détails et développer avec quelque intérêt ces éléments précieux ; mais qui ne sait que le grand physicien expose aussi bien qu'il invente, et que ce serait lui faire injure que de ne pas attendre les admirables développements qu'il nous a promis ? Il nous a même annoncé qu'il mesurerait la quantité de lumière ainsi engendrée par les corps par suite d'un ébranlement extérieur ! Attendons donc pleins d'espérance ; nous avons d'ailleurs, cette fois, déjà trop mis à l'épreuve la patience de nos lecteurs.

P. S. Il eût été curieux de compléter les recherches de M. de Wrède par celles de M. Ermann, qui a mesuré directement les intervalles des raies noires, ce que n'avait pas fait le physicien suédois. Cette comparaison était un devoir pour M. Ermann, nous ne comprenons pas qu'il s'en soit dispensé.

F. Moigno.

Digitized by Google

REVUE

DES JOURNAUX FRANÇAIS ET ÉTRANGERS.

PAR M. E. KOPP.

Partie physique.

Coup d'œil sur les résultats de quelques travaux touchant les régularités qui se manifestent dans les poids spécifiques et les points d'ébullition des combinaisons chimiques, par M. Hermann Kopp.

(Journal für pract. Chimie, XXXIV, 1.)

1. [Ce travail de M. H. Kopp présente un résumé précis et rapide de ses belles recherches sur les relations qui existent entre la constitution, les poids spécifiques et les points d'ébullition des combinaisons chimiques; il relate en outre succinctement, et en les appréciant, les recherches des autres physiciens, quant aux questions qui se lient intimement à ce sujet. En présentant ainsi dans un cadre unique les résultats principaux qui se trouvent disséminés dans une foule d'écrits et de mémoires, M. Kopp a rendu un véritable service à la science, et son travail ne manquera pas d'exciter vivement l'attention des chimistes et des physiciens.]

2. Les travaux dont nous avons à nous occuper ont trait aux dépendances qui ont été signalées entre la constitution chimique des corps solides et liquides, leurs poids spécifiques à leurs points d'ébullition. Les recherches sur les poids spécifiques des corps solides et liquides ont été faites sous différents points de vue. D'un côté on a cherché comment on peut trouver les poids spécifiques des combinaisons chimiques en en connaissant la constitution, et de l'autre, dans quelle liaison les poids spécifiques des corps se trouvent en général avec quelques autres de leurs propriétés. Ces deux directions ont surtout donné une haute importance à l'examen des

Digitized by Google

poids spécifiques des corps dans leurs rapports avec leurs poids atomiques.

3. Les rapports suivant lesquels les corps se combinent en poids sont donnés par les poids atomiques; ceux suivant lesquels ils s'unissent en volumes se trouvent facilement quand on connaît les poids spécifiques; il suffit pour cela de diviser le poids atomique par le poids spécifique.

Ainsi le soufre et le zinc s'unissent, par exemple, dans la proportion de 201 de soufre et 403 de zinc : ces nombres expriment le rapport de leurs poids atomiques; mais le poids spécifique du soufre est 1,99, celui du zinc = 6,95; donc le rapport des volumes de ces deux quantités de soufre et de métal est :

$$:: \frac{201}{1,99} : \frac{403}{6,95} : = :: 101 : 58,$$

en d'autres termes, 101 parties de soufre, en volumes, s'unissent avec 58 parties de zinc pris également en volumes.

Ce sont ces quotients des poids atomiques par les poids spécifiques qu'on appelle volumes spécifiques.

[*N. B.* On se sert encore pour cela des expressions : volume atomique, volume de l'équivalent, volume moléculaire, volume particulaire ; celle de volume spécifique paraît la plus convenable.]

Le volume spécifique observé est le quotient du poids atomique par le poids spécifique observé. Ainsi 101 est le volume spécifique du soufre, 58 celui du zinc, 488 celui du nitrate argentique.

Poids atomique du $\dot{Ag}\dddot{N} = 2129$.

Poids spécifique $= 4,36$; $\frac{2129}{4,36} = 488$

Les volumes spécifiques représentent les espaces relatifs que ne remplissent que ces quantités des différents corps, qui se trouvent dans le rapport des poids atomiques de ces derniers. Ces volumes spécifiques ne sont au reste que des nombres proportionnels, de même que les poids atomiques. Ceux-ci expriment le rapport des poids d'un atome des différents corps, ceux-là n'expriment pas le rapport des volumes d'un atome des différents corps, mais bien le rapport des volumes de ces atomes avec les sphères caloriques dont chacun est entouré; car le contact des atomes n'est pas immédiat; ils sont séparés par ces atmosphères de calorique, qu'on peut négliger tant qu'on s'occupe du poids relatif des atomes, mais aux-

Digitized by Google

quelles il faut avoir égard quand il s'agit de volumes. Le volume spécifique d'un corps peut donc encore être défini, volume relatif d'un atome de ce corps avec la sphère calorique qui l'entoure. Le volume spécifique étant le quotient des poids atomiques par les poids spécifiques, il est évident que ces quotients doivent différer sitôt qu'on part de poids atomiques différents; par exemple, suivant qu'on pose l'oxigène = 100 ou = 8. Mais de même que les rapports des poids atomiques ne changent pas par là, de même encore ceux des volumes spécifiques resteront contants dans les deux cas. Les poids atomiques dont nous nous servons ici sont ceux de M. Berzelius; l'oxigène = 100. Les nombres que nous employons sont également encore les anciens, car les corrections qu'on y a faites n'exercent pas d'influence sensible sur ces considérations.

Les nombres qui représentent les volumes spécifiques peuvent être rendus plus intelligibles en les rapportant à une certaine unité. —En supposant que les nombres qui expriment les poids atomiques représentent des gramm s, alors 201, poids atomique du soufre, et 403, poids atomique du zinc, signifient que 201 gr. de soufre se combinent avec 403 gr. de zinc. — Si nous nous rappelons maintenant que les densités des corps solides et liquides sont prises relativement à l'eau, admise comme unité, et qu'un centimètre cube de ce liquide pèse 1 gramme, nous savons également que le poids spécifique d'un corps exprime le nombre de grammes que *n* pèse 1 centimètre cube : ainsi 1,99 et 6,95, poids spécifiques du soufre et du zinc, veulent dire qu'un centimètre cube de soufre pèse 1,99 gr., et qu'un centim. cube de zinc pèse 6,95 gr. Actuellement, comme le volume spécifique est le quotient du poids atomique (que nous considérons comme exprimant des grammes), par le poids spécifique (poids en grammes d'un centimètre cube), ce quotient indiquera évidemment de combien de centimètres cubes est grande la quantité d'un corps dont le poids est exprimé en grammes par le poids atomique. Ainsi 201 et 101, poids atomique et volume spécifique du soufre, 403 et 58 = poids atomique et volume spécifique du zinc, peuvent donc encore s'interpréter de cette manière : 201 grammes de soufre remplissent un espace de 101 centimètres cubes, et 403 gr. de zinc un espace de 58 centimètres cubes, etc., etc.

Nous avons insisté à dessein sur cette question, puisqu'il est important de comprendre les volumes spécifiques pour concevoir ce qui va suivre.

4. Les recherches sur les poids spécifiques des corps ne consis-

Digitized by Google

tent en ce moment que dans la découverte des lois qui régissent les volumes spécifiques des corps. Connaissant le volume spécifique d'un corps, rien de plus facile que d'en déduire le poids spécifique ; le volume spécifique étant le quotient du poids atomique par le poids spécifique, inversement, ce dernier se trouvera en divisant le poids atomique par le volume spécifique.

Le tableau suivant indique le volume spécifique des corps simples, dont la densité est bien connue ; on y a ajouté le cyanogène par suite de son analogie avec le chlore, l'iode, etc.

[*N. B.* Nous donnons ici une revue de tout ce qui nous paraît acquis de plus certain sur les volumes et poids spécifiques. Nous ne nous servirons donc ici que des nombres qui nous paraissent justifiés par l'observation, regrettant que les limites qui nous sont imposées nous empêchent d'indiquer chaque fois les observations sur lesquelles nous appuyons nos données. Nous pouvons le faire pour les volumes spécifiques, et d'autant mieux que des savants qui sont les premières autorités dans les déterminations des densités (tels que M. Karsten, dans sa *Philosophie chimique*, Berlin 1843) ont adopté les nombres que nous allons donner à la place des résultats plus ou moins discordants fournis par l'observation directe. Nous croyons encore devoir prier les personnes qui veulent émettre un jugement solide sur ce qui va être dit, de ne se baser que sur les travaux originaux, tout en ayant égard à ce que nous avons fait à l'appui de notre manière de voir et à ce que d'autres ont fait contre elle. Si nous devons donner ici un résumé de nos opinions et de tout ce qui s'y rattache de plus important, nous ne pouvons pas nous occuper de chaque particularité, qui cependant doit être prise en considération par quiconque veut émettre un jugement sur cette question.]

Substances.		P. atom.	Vol. spécif.	P. spécif.
Antimoine,	Sb	806	120	6,72
Argent,	Ag	1352	130	10,4
Arsenic,	As	470	80	5,87
Bismuth,	Bi	1330	135	9,85
Brome,	Br	489	160	3,06
Cadmium,	Cd	697	81	8,60
Chlore,	Cl	221	160	1,38
Chrome,	Cr	352	69	5,10
Cobalt,	Co	369	44	8,39
Cuivre,	Cu	396	44	9,00

Digitized by Google

Substances.		P. atom.	Vol. spécif.	P. spécif.
Cyanogène,	Cy	165	160	1,03
Étain,	Sn	735	101	7,28
Fer,	Fe	339	44	7,70
Iode,	I	789	160	4,93
Iridium,	Ir	1233	57	21,6
Manganèse,	Mn	346	44	7,86
Mercure (1),	Hg	1266	93	13,6
Molybdène,	Mo	599	69	8,68
Nickel,	Ni	370	44	8,41
Or,	Au	1243	65	19,1
Osmium,	Os	1244	57	21,8
Palladium,	Pa	666	57	11,7
Phosphore,	P	196	111	1,77
Platine,	Pt	1233	57	21,6
Plomb,	Pb	1294	114	11,35
Potassium,	K	490	583	84
Rhodium,	Rh	651	57	11,4
Sélénium,	Se	495	115	4,30
Sodium,	Na	291	292	0,99
Soufre,	S	201	101	1,99
Titane,	Ti	304	5	5,33
Tungstène,	W	1183	69	17,1
Zinc,	Zn	403	58	6,95

Les volumes spécifiques indiqués ici sont ceux des corps simples à l'état isolé; en d'autres termes, ils résultent des densités qu'on a déterminées sur ces corps mêmes.

Nous verrons plus bas que quelques éléments possèdent en combinaison un volume spécifique autre qu'à l'etat isolé; ce dernier est aussi appelé volume spécifique primitif.

Le volume spécifique des corps varie avec la température. La chaleur augmentant les intervalles des atomes, leurs atmosphères caloriques, il est évident qu'à une température plus élevée, le volume spécifique d'un corps ou, ce qui revient au même, le volume relatif d'un atome de ce corps avec son atmosphère de calorique doit être plus grand — Nous manquons encore de données suffisantes sur la grandeur de ces changements pour la majeure partie

(1) Ann de Poggendorff, vol. XLVII, p. 138 et suiv.

Digitized by Google

des corps solides. — Nous verrons, § 24, dans quel sens il faudrait peut-être y avoir égard.

5. Voyons d'abord la liaison qu'on a constatée entre les volumes spécifiques des corps et quelques unes de leurs propriétés.

Nous avons fait voir en 1839 (*Voyez note*, § 18) que des corps chimiquement semblables possèdent fort souvent le même volume spécifique. C'est ainsi que ce volume est = 69 pour le chrome, le tungstène et le molybdène; = 44 pour le fer, le cobalt, le cuivre, le manganèse et le nickel; = 57 pour l'iridium, l'osmium, le palladium, le platine et le rhodium, et = 160 pour le chlore, le brome, l'iode et le cyanogène. Des quantités équivalentes des différents membres de chacun de ces groupes occupent donc des espaces également grands. Le poids atomique du chrome (densité = 5,10) est 352, celui du molybdène (densité = 8,68) est 599, celui du tungstène (D= 17,1) est 1183; 352 grammes de chrome remplissent un espace de 69 centimètres cubes, et ce même espace est rempli par 599 grammes de molybdène ou 1183 grammes de tungstène. Le poids atomique du chlore est 221, celui du brome 489, de l'iode 789, du cyanogène 165; 221 grammes de chlore liquide possèdent le même volume que 489 grammes de brome ou 789 grammes d'iode ou comme 165 grammes de cyanogène liquide, c'est-à-dire 160 centimètres cubes. De même des autres groupes des corps analogues dont il a été question plus haut.

6. Un examen plus attentif fit voir que cette égalité des volumes spécifiques se rattache à l'isomorphisme. Nous insistâmes là-dessus dès 1839, et nous prouvâmes en 1840 (*Ann. de Liebig et Woehler*, vol. XXXVI, p. 1 et 3) avec plus de détails que tous les corps isomorphes possèdent un même volume spécifique. — Les preuves en sont très nombreuses, et nous en citerons tout-à-l'heure quelques unes. En accumuler davantage nous conduirait trop loin pour le moment, d'autant plus que cela a été fait dans plusieurs circonstances, et notamment dans le mémoire que nous venons de citer.

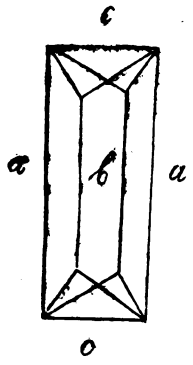
La propriété indiquée plus haut— que les corps isomorphes possèdent un même volume spécifique — peut encore s'exprimer ainsi : dans les corps isomorphes, les densités sont comme les poids atomiques; ou bien : des quantités équivalentes de corps isomorphes occupent un espace également grand. Par exemple, le sulfate sodique anhydre est isomorphe avec le sulfate argentique; le poids atomique du premier est 892, sa densité 2,44; le poids atomique du second = 1953, et sa densité = 5,34. Or 892 : 1953 : : 2,44 : 5,34, ou bien 892 grammes de sulfate sodique possèdent le même volume que

Digitized by Google

1953 grammes de sulfate argentique; ce volume est 366 centimètres cubes.

7. La loi qui vient d'être énoncée n'est applicable à la rigueur que quand l'isomorphisme est parfait; en d'autres termes, quand les combinaisons à constitution atomique analogue possèdent absolument la même forme cristalline. Mais on applique ordinairement cette expression aussi aux combinaisons qui cristallisent dans le même système, pourvu que les formes cristallines soient à peu près les mêmes. Pour ces corps qui ne sont pas absolument isomorphes, cette loi n'est qu'approximative; leurs volumes spécifiques s'accordent d'autant mieux que l'isomorphisme est plus parfait. Quelques exemples suffiront pour faire comprendre la liaison qui existe entre le volume spécifique et la forme cristalline des corps isomorphes.

8. Les carbonates de baryte, strontiane, plomb et chaux (comme l'aragonite) cristallisent à peu près de la même manière; leur forme caractéristique la plus simple est représentée dans la figure ci-jointe; on peut y rapporter les autres qui peuvent se présenter.



Les angles des cristaux ne sont pas exactement les mêmes dans ces différentes substances; les angles *a* et *b*, ainsi que *c*, diffèrent; mais les volumes spécifiques diffèrent également, comme le prouve le tableau suivant (les poids spécifiques ont été déterminés par M. Mohs).

Formule.	Poids at.	P. spécif.	V. spéc.	Angles *a*.	*b*.	*c*.
Ba $\ddot{C}$	1233	4,30	287	118°,30′	61°,30′	106°,50′
Sr $\ddot{C}$	924	3,60	256	117°,16′	62°,44′	108,12
Pb $\ddot{C}$	1671	6,47	258	117°,14′	62°,46′	108°,13′
Ca $\ddot{C}$	632	2,93	215	116°,16′	63°,44′	108°,27′

On reconnaît clairement ici que les deux sels qui sont les plus isomorphes sont aussi ceux dont les volumes spécifiques s'accordent le mieux. Les différences dans les angles de ces deux carbonates (strontique et plombique), ainsi que celles de leurs volumes spécifiques, sont tellement minimes, qu'on peut les attribuer à

Digitized by Google

des erreurs d'observations. Le carbonate barytique et l'aragonite diffèrent des deux sels précédents par le rapport des angles et pour les volumes spécifiques; on remarque en même temps qu'à mesure que le volume spécifique augmente, l'angle *a* devient aussi plus grand, tandis que les angles *b* et *c* diminuent. On peut voir un exemple de ces changements correspondants à l'augmentation du volume spécifique, en rendant celui de l'un des sels précédents plus grand par la chaleur; l'angle *a* devient plus obtus, *b* et *c* deviennent plus aigus.

9° La même chose se remarque dans les autres sels qui ne sont pas tout-à-fait isomorphes; les sels isomorphes connus sous le nom de *spaths* se prêtent à merveille pour faire saisir ce rapport entre le volume spécifique et la forme cristalline. Le zinc spathique, le carbonate manganeux, la dolomie et le spath calcaire cristallisent tous dans des formes qui se ramènent aux arêtes du rhomboèdre, mais les angles des romboèdres primitifs ne sont pas les mêmes.

Le tableau suivant fera ressortir combien la différence de forme cristalline exprimée par l'angle des arêtes du sommet du rhomboèdre est liée à la différence dans le volume spécifique.

Formules.	Poids atom.	Poids spécif.	Vol. spécif.	Angles des arêtes du sommet.
$\dot{Zn}\ddot{C}$	780	4,40	177	107°,40′
$\dot{Mg}\ddot{C}$	535	2,94	182	107°,25′
1/2 ($\dot{Mg}\ddot{C}+\dot{Fe}\ddot{C}$)	625	3,37	186	107°,14′
$\dot{Fe}\ddot{C}$	716	3,76	190	107°,0′
$\dot{Mn}\ddot{C}$	722	3,74	193	106°,51′
1/2 ($\dot{Mg}\ddot{C}+\dot{Ca}\ddot{C}$)	584	2,78	210	106°,15′
$\dot{Ca}\ddot{C}$	632	2,72	232	105°,5′

Plus les angles de deux de ces sels s'accordent, plus leurs volumes spécifiques se rapprochent de l'identité. On voit en outre que, dans cette classe de corps, l'angle des arêtes du sommet diminue à mesure que le volume spécifique augmente; si donc on augmente ce dernier par la chaleur, par exemple, on verra en même temps que l'angle du sommet du rhomboèdre correspondant devient moins obtus. M. Mitscherlich a signalé depuis longtemps cette variation des angles par la chaleur. Nous avons donné une formule qui in-

Digitized by Google

dique plus exactement cette liaison entre le volume spécifique et la forme cristalline. Sachant de combien le volume spécifique de l'un de ces corps s'accroît par un certain degré de chaleur, on peut trouver facilement de combien l'angle du sommet du rhomboèdre diminue; et le résultat de ce calcul s'accorde à merveille avec l'observation directe.

10. Nous venons de voir que dans les corps parfaitement isomorphes, les volumes spécifiques sont parfaitement semblables, et qu'ils ne le sont qu'approximativement dans les corps dont l'isomorphisme n'est qu'approchant. Il n'y a que ceux qui cristallisent dans le système régulier qui conservent leurs formes aux différentes températures, et par conséquent lors même que le volume spécifique varie. De petites différences dans les volumes spécifiques de ces corps n'empêchent pas que l'isomorphisme en soit complet. L'isomorphisme de deux corps implique une coïncidence correspondante dans leurs volumes spécifiques, mais l'inverse n'a pas lieu. Une égalité approchante entre les volumes spécifiques est nécessaire pour qu'il y ait isomorphisme; mais cette égalité peut aussi exister sans que pour cela les corps soient isomorphes.

Nous reviendrons, § 19, sur quelques résultats concernant l'isomorphisme qui résultent des recherches sur les volumes spécifiques. Il nous reste pour le moment à faire voir que, de même que deux corps différents, mais de constitution analogue, possèdent un volume spécifique quand leur forme cristalline est la même, de même encore une combinaison chimique possède avec une forme cristalline différente des volumes spécifiques différents. Une substance dimorphe jouit dans chacune de ses modifications d'un poids spécifique différent, par conséquent son volume spécifique diffère de même.

Le carbonate de chaux possède comme spath calcaire un volume spécifique = 232, comme aragonite = 215; celui de l'acide titanique est à l'état de rutile = 120, à l'état d'anatase = 132; la combinaison $\dot{Ca}^3\,\dddot{Si} + \ddot{Al}\,\dddot{Si}$, jouit comme vésuvienne d'un volume spécifique = 843; comme grenat = 789, etc. On peut dire d'après cela que les corps dimorphes ne sont pas identiquement composés; en poids leur composition est la même sans doute, mais elle ne l'est pas en volume. L'une des modifications contient sous un certain volume une autre quantité de parties constituantes de la seconde modification.

11. Occupons nous maintenant de l'autre direction, qui a été suivie dans les recherches sur les volumes spécifiques, et voyons

Digitized by Google

jusqu'à quel point on peut trouver le poids ou les volumes spécifiques d'une combinaison chimique en en connaissant les éléments constituants.

En combinant deux substances non gazeuses, le volume du corps qui en résulte n'est plus, dans l'immense majorité des cas, égal à la somme des volumes des éléments constituants. A la suite de considérations sur le changement de propriétés produit en général par les mélanges, (*Physikalisch-chemische de Beitraege*, première partie, aussi sous le titre : *Uber die Modification des mittleren Eigenschafter*, etc. Francfort-sur-le-Mein 1841), nous avons examiné les régularités qui ont lieu dans les changements de volume qui s'observent dans des mélanges faits en proportions quelconques. Les résultats de ce travail sont intéressants sous plus d'un rapport, surtout parce qu'ils peuvent contribuer à la solution d'importantes questions de chimie ; cependant nous ne les discuterons pas ici, ayant à nous occuper de la densité des combinaisons chimiques. Une combinaison chimique est le plus souvent accompagnée de condensation, c'est-à-dire que le volume du composé est plus petit que la somme des volumes des éléments pris séparément. Elle est plus rarement suivie de dilatations. Herapath (*Philosophical Magazine*, t. LXIV, p. 321), Boullay (*Ann. de chimie et de phys.*, t. XLIII, p. 266, et *Poggendorff*, vol. XIX, p. 107) et M. Karsten (*Schweigger*, *Journal* B^d^, LXV, S., 394 et suivant) poursuivaient déjà les régularités qu'on remarque dans ces changements de volumes; ils cherchaient également à déduire de la constitution chimique d'un corps sa densité, même quand ce corps renferme, comme les oxides, un élément dont la densité à l'état solide ou liquide est encore inconnue. Ces savants, et surtout les deux derniers, ont notablement agrandi la connaissance empirique des densités des combinaisons chimiques; mais leurs travaux n'ayant pas eu de résultats théoriques, Boullay crut devoir en conclure que nos connaissances ne nous permettent pas encore d'émettre une opinion même approximative sur la densité que possèdent des corps tels que l'oxigène à l'état solide (dans une combinaison solide), et M. Karsten déclare qu'on ne peut pas calculer la densité d'une combinaison chimique en en connaissant la composition.

J'examinai le même objet dans un mémoire publié en 1839 (*Ann. de Poggendorff*, XLVII, 133 et suiv.), qui ouvrit, suivant M. Berzelius (*Rapp. annuel*, 1841, p. 18), un champ de recherches d'un haut intérêt, digne d'être poursuivi avec tout le détail possible, et qui, en effet, a été le point de départ de beaucoup de tra-

Digitized by Google

vaux. J'abandonnai la méthode employée dans ce mémoire, à la suite d'une découverte que fit plus tard M. Schroeder sur le volume spécifique, et qui conduisit à une manière de voir plus simple.

12. Quand une combinaison prend un volume autre que celui de la somme des éléments, on peut s'expliquer ce changement de volumes de différentes manières. Ainsi on peut supposer qu'il s'étend à toute la combinaison, ou qu'il s'opère dans chaque élément en particulier. Ainsi 2 vol. d'hydrogène forment avec 1 d'oxigène = 2 vol. de vapeur d'eau, ce qu'on exprime ordinairement en disant : la vapeur d'eau qui résulte de l'union de 1 vol. d'oxigène avec 2 vol. d'hydrogène se condense en 2 vol. Mais on pourrait aussi considérer le phénomène comme s'il n'y avait que les 2 vol. d'hydrogène qui se condensent en 1 vol., qui avec l'autre volume d'oxigène forme 2 vol. de vapeur d'eau ; on pourrait encore supposer que les deux éléments se condensent isolément, de telle sorte que 2 vol. d'hydrogène se réduisent à 1 vol. 1/2 et 1 vol. d'oxigène = 1/2 pour former ensuite 2 vol. de vapeur d'eau. Ainsi, quand on dit : la condensation a lieu pour la combinaison, ou elle a lieu pour les éléments isolés, il est clair qu'on ne veut dire autre chose, sinon que, dans le premier cas, les principes constituants forment d'abord une combinaison, sans changement de volume, et ce n'est qu'après que la condensation a lieu; dans le second, que les deux éléments, ou du moins l'un d'eux, changent de volume avant d'entrer en combinaison, et que le volume de cette dernière est égal à la somme des volumes des éléments pris dans l'état dans lequel ils se trouvent au moment où ils se combinent. Ce dernier cas soulève une question importante, c'est celle de savoir quel est le volume que chaque élément possède en entrant en combinaison.

13. On suppose donc dans le premier cas qu'il y a d'abord combinaison, puis condensation, et dans le second que l'un des éléments ou plusieurs occupent chacun, dans la combinaison, un espace plus petit qu'à l'état libre. — Les condensations les mieux étudiées, celles des combinaisons gazeuses formées d'éléments gazeux, ont été envisagées, dès le principe, sous le premier point de vue, et quoique l'autre cas paraisse bien plus vraisemblable pour les combinaisons non gazeuses, on n'en persévère pas moins dans la première manière de voir; c'est encore d'après elle qu'on étudiait il y a quelque temps les condensations et dilatations qui se produisent dans l'union des corps non gazeux, et nous suivîmes également cette méthode dans le mémoire publié en 1839. M. Schroeder fut le premier (1840, *Poggendorff*, L, 553 et suiv.) à envisager sous l'autre point de vue les changements de volume

Digitized by Google

qui ont lieu dans les combinaisons chimiques, en les considérant comme ne s'opérant que sur les éléments isolés. Cette idée a porté fruit, et le mérite de l'avoir émise le premier demeure acquis à M. Schroeder, quoique plus tard il l'ait retirée et expressément déclarée fausse. — Dans ce même mémoire, M. Schroeder fit encore connaître une autre découverte qui fut également d'une grande importance pour la théorie des volumes spécifiques des combinaisons inorganiques. — Elle consiste en ce que, en retranchant des volumes spécifiques de combinaisons analogues ceux des éléments correspondants, il reste dans beaucoup de cas un même reste pour le volume de l'élément commun. Ainsi le volume spécifique de l'oxide plombique est = 146, celui du plomb = 114; le volume spécifique de l'oxide cuivrique = 76, celui de cuivre = 44; il en résulte 146 — 114 = 76 — 44. Nous verrons tout-à-l'heure d'autres exemples.

C'est à l'occasion de ce mémoire que M. Schroeder émit l'opinion que le volume spécifique de chaque combinaison est égal à la somme des volumes spécifiques des éléments constituants. D'après ce savant, le volume spécifique d'un élément peut varier suivant que cet élément est libre ou combiné; mais dans tous les cas il y a un rapport simple entre les volumes spécifiques de l'élément pris dans ces deux états.

Par exemple, le volume spécifique de l'arsenic isolé est = 80, celui du soufre = 101. Le volume spécifique du réalgar, As S est = 196. Ce volume résulte, selon M. Schroeder, de la dilatation du volume spécifique de l'arsenic aux 3/2, et de la condensation aux 3/4 de celui du soufre. Le volume spécifique du réalgar = 196 serait donc formé de 3/2 80, = 120 + 3/4, 101 = 196. M. Schroeder n'admet pas toujours que deux éléments changent de volume spécifique en se combinant: il attribue au contraire souvent la condensation au changement de volume d'un seul élément, supposant que l'autre possède le même volume spécifique à l'état combiné qu'à l'état libre. Mais n'ayant pas indiqué la classe de corps dont le volume spécifique demeure constant dans les deux états, ses idées d'alors ne détruisent pas la possibilité que les deux éléments puissent changer de volume spécifique en se combinant; et partout où suivant lui ces changements de volume ont lieu dans les deux éléments d'une combinaison, il cherche à déduire ces changements du volume spécifique de cette dernière (comme dans l'exemple du réalgar, les changements de 3/2 et 3/4). Sa théorie ne se basant pas sur un nombre de faits suffisant, elle ne pouvait rendre compte d'une manière vraisemblable du volume spécifique

Digitized by Google

sous lequel un élément est contenu dans la combinaison, car il ne suffit pas d'*une* équation pour trouver *deux* quantités inconnues. Il en résulte que cette théorie permet de concevoir diversement comment les volumes spécifiques des combinaisons procèdent de ceux des parties constituantes, et les explications qu'on en peut donner se contredisent sans paraître pour cela plus vraisemblables l'une que l'autre.

14. Nous avons démontré (*Poggendorff*, LII, 243 et suiv.) l'insuffisance de la théorie de M. Schroeder dans une critique que nous fîmes à ce sujet. Néanmoins la découverte que fit ce savant, et dont il a déjà été question, savoir, qu'en retranchant les volumes spécifiques des éléments correspondants de ceux des combinaisons analogues, on obtint un même reste, cette découverte, disons-nous, offrit un point de départ à des considérations plus rationnelles sur la formation des volumes spécifiques des combinaisons. Ces considérations, quoiqu'elles n'aient encore pu démontrer les lois qui régissent les corps dans leurs combinaisons en volumes, ne nous permettent pas moins de nous représenter nettement le volume spécifique et par suite la densité de beaucoup de combinaisons chimiques. Nous avons publié, en 1841 (*Uber das spechifische Gewicht der chemischen Verbindungen.* Francfort-sur-le-Mein, 1841), un travail à ce sujet; nous en donnerons ici un résumé, plutôt pour éclairer le point de vue sous lequel nous envisageâmes la question que pour en citer tous les résultats. Il n'est pas possible d'établir sous quels volumes spécifiques les éléments sont contenus dans une combinaison isolée, puisque d'une seule quantité (le volume spécifique de la combinaison) on ne peut conclure à plusieurs quantités inconnues (les volumes spécifiques des éléments en combinaison). Mais on peut, pour des composés analogues, émettre des opinions plus ou moins vraisemblables sur les volumes spécifiques de leurs éléments constituants.

15. Figurons-nous de nouveau les poids atomiques évalués en grammes : alors un atome de plomb (Pb) pèsera 1294 gr. et occupera un espace de 114 centimètres cubes. En transformant cette quantité de plomb en nitrate, ce métal se combine avec N^2O^6; son poids augmentera par là de 777 gr., et son volume de 358 centimètres cubes; car le volume spécifique du nitrate plombique qui en résulte est = 472 centimètres cubes (poids at. = 2071, pesanteur spécifique 4,40; $\frac{2071}{4,40} = 472$). Le poids atomique de l'argent = 1352 gr.; son volume = 130 centimètres cubes. Transformé en nitrate, cet atome augmente de N^2O^6 = 777 gr. Son volume augmente aussi de 358 centimètres cubes et sera donc 130+358

Digitized by Google

= 488. Ces faits peuvent se concevoir très nettement, en admettant que le volume spécifique du plomb et de l'argent reste dans le nitrate ce qu'il est dans ces métaux isolés; mais que celui de la somme des éléments de N^2O^6, qui, par son union avec ces métaux, les a transformés en nitrates, est = 358.

Appuyé sur ces considérations, nous avons cherché à déterminer le volume spécifique de différentes autres réunions d'éléments, qui par leur combinaison avec un métal le transforme en sel.

Le volume d'un poids atomique de plomb (1294 gr.) est = 114 centimètres cubes; transformé en oxide plombique, il a fixé 100 gr. d'oxigène, et son volume s'est agrandi de 32 centimètres cubes. Nous remarquons encore la même augmentation de volume en oxidant un poids atomique de cuivre (396 grammes ou 44 cent. cubes) ou de mercure (1266 grammes ou 93 cent. cubes), ou de zinc (403 grammes ou 58 cent. cubes), circonstances dans lesquelles il se fixe toujours 100 grammes d'oxigène.

Un poids atomique de titane pèse 304 grammes, son volume est = 57 cent. cubes. Transformé en acide titanique, il fixe 200 grammes d'oxigène, et son volume augmente de 64 = 2.32 cent. cubes.

2 atomes de fer (678 grammes) possèdent un volume = 88 cent. cubes. Transformés en oxide ferrique, ils s'unissent avec 300 grammes d'oxigène, en même temps que leur volume augmente de 96 = 3.32 cent. cubes.

Nous voyons donc que, pour bien saisir ces propriétés, il suffit d'admettre que le volume spécifique de ces métaux reste constant, que ces derniers soient libres ou combinés; mais que celui d'un poids atomique d'oxigène est = 32 (100 grammes d'oxigène occupent dans ces oxides un volume de 32 cent. cubes).

C'est ainsi que nous cherchâmes à déterminer le volume spécifique de l'oxigène et d'autres corps semblables en combinaison, en supposant toujours que le volume spécifique de ces métaux ne change pas par leur combinaison. Avec cette supposition on arrive à des résultats très satisfaisants pour les composés de l'antimoine, du plomb, cadmium, chrome, fer, cobalt, cuivre, manganèse, molybdène, nickel, mercure, argent, titane, bismuth, tungstène, étain, zinc; bref pour les combinaisons des métaux pesants. Tous (à l'exception de l'arsenic, si toutefois on le considère comme métal) paraissent être contenus dans leurs combinaisons avec le volume spécifique qu'ils possèdent à l'état libre. Il en est autrement des métaux légers (métaux alcalins et terreux); ils changent de volume spécifique en se combinant.

Digitized by Google

16. Un poids atomique de potassium pèse 490 grammes et remplit un espace de 538 cent. cubes. Transformé en sulfate, on obtient 1091 grammes d'un sel qui n'occupe plus qu'un espace de 420 cent. cubes. Il est évident que le potassium qui y est contenu ne peut plus occuper un espace de 583 cent. cubes.

Il faut donc admettre que le potassium (ainsi que les autres métaux légers, pour une partie desquels on ne connaît pas encore le volume quand ils sont à l'état libre) possède un autre volume spécifique suivant qu'il est libre ou combiné. En cherchant le volume spécifique de ces métaux en combinaison, on trouve que chaque métal léger possède le mince volume spécifique dans toutes ses combinaisons analogues, par exemple dans ses sels. Voici comment je procédai dans ces recherches. De ce que le volume spécifique des nitrates plombique ou argentique (Pb ou Ag avec les éléments de N^2O^6) est plus grand de 358 que celui du plomb ou de l'argent, nous avons conclu plus haut que le volume spécifique de N^2O^6 est dans ces nitrates = 358. Or, le volume spécifique du nitrate potassique (K avec les éléments de N^2O^6) est = 592. Admettant que celui de N^2O^6 soit encore = 358, il en résulte que le volume spécifique du potassium contenu dans ce sel est = 592 — 358 = 234. Le volume spécifique du sulfate plombique (Pb avec les éléments de SO^4) est plus grand que celui du plomb, de 186. J'en conclus que les éléments de SO^4 sont contenus dans le sulfate plombique avec un volume spécifique = 186. En procédant de même pour le sulfate potassique, dont le volume spécifiqne=420, le volume spécifique du potassium qui y est contenu sera = 420 — 186 = 234: c'est le nombre que nous avons déjà trouvé; d'après cela, nous évaluons = 234 le volume spécifique du potassium en combinaison.

Nous avons donné, dans le travail cité plus haut, les nombres suivants pour les volumes spécifiques des métaux légers en combinaison; nous y avons encore ajouté l'ammonium N^2H^8.

	Vol. spécifique.
Ammonium,	218
Baryum,	143
Calcium,	60
Magnésium,	40 (Voir la note du § 18.)
Potassium,	234
Sodium,	130
Strontium,	108

17. Ce sont là les points essentiels sur lesquels se base notre travail sur les poids spécifiques des combinaisons inorganiques. Mais,

Digitized by Google

avant de passer outre, nous allons encore nous occuper de quelques résultats qu'il nous a fournis. Si l'on admet que le volume spécique de CO^3 (éléments qui, en s'unissant aux métaux, forment des carbonates) soit = 151, que celui des métaux pesants soit de la grandeur indiquée sur le tableau 4, et celui des métaux légers, tel que le dit le tableau 16, on peut en déduire les volumes spécifiques des carbonates à base des métaux Pb, Cd, Fe, Mn, Zn, Ba, Ca, K, Na, Ng, Sr, et les résultats s'accordent fort bien avec l'observation. Par exemple, le volume spécifique du Pb = 114; celui de son carbonate CO^3, Pb s'obtiendra d'après cela par 114 + 151 = 265 ; le poids atomique de ce sel étant = 1670, sa densité sera $\frac{1670}{265} = 6{,}30$. Le strontium, à l'état de sel, possède un volume spécifique = 108; celui de son carbonate sera 108 + 151 = 259. Le poids atomique de ce dernier étant 923, sa densité sera $\frac{923}{259} = 3{,}56$.

On calcule de même et avec les mêmes résultats les volumes et poids spécifiques des nitrates de Pb, Ag, Am, (Ammonium) Ba, K, Na, Sr, en admettant toutefois pour les métaux les mêmes nombres que plus haut, et en posant = 358, le volume spécifique de N^2O^6 (qui constitue les nitrates avec les métaux). L'hypothèse que les éléments de SO^4 soient contenus dans les sulfates avec un volume spécifique = 236, est justifiée par les volumes et poids spécifiques des sulfates de Cu, Ag, Zn, Ca, Mg, Na. Mais il y a des sulfates qui nécessitent une autre hypothèse, celle qu'ils contiennent les éléments de SO^4 avec un volume spécifique = 186. Ce sont les sulfates de Pb, Ba, Sr, K.

Cette nécessité d'admettre pour les mêmes éléments en différentes combinaisons des volumes spécifiques différents se reproduit encore dans quelques autres classes de combinaison. Ces différentes suppositions sont loin de paraître choquantes; car la propriété des corps dimorphes de posséder des volumes spécifiques différents (10) nous y conduit sans transition. Le passage d'un sulfate qui contient SO^4 avec un volume spécifique = 186 dans une autre modification, dont SO^4 a pour volume spécifique 236, ne doit pas non plus paraître impossible. On sait que du sulfate potassique fondu avec du sulfate sodique et dissous dans l'eau cristallise en produisant de la lumière; ce phénomène paraît montrer que par sa fusion avec ce dernier sel, KSO^4 passe dans la modification où SO^4 possède un volume spécifique = 236, pour retourner par la cristallisation dans celle plus dense, dont le volume spécifique SO^4 = 186.

Enfin les suppositions que le volume spécifique de CrO^4 = 228, et celui de WO^4 = 244 répondent parfaitement aux poids et aux

Digitized by Google

volumes spécifiques des chromates plombique et potassique et des tungstates plombique et calcique.

Parmi les sels haloïdes, nous n'avons de résultats un peu positifs que pour les chlorures. Nous avons supposé dans le travail cité que Cl^2 possède dans ses combinaisons avec Pb, Ag, Ba, Na, un volume spécifique = 196; dans celles de Am, Ca, K, Cu^2, Hg, Hg^2, Sr, un volume spécifique = 245. Ces suppositions s'accordent très bien avec les observations des densités de ces sels.

Si l'on suppose que le volume spécifique des métaux pesants soit dans leurs oxides le même qu'originairement; si l'on admet de plus que celui de l'oxigène = 32, les poids et volumes des oxides qui suivent s'accorderont parfaitement avec l'observation. Ces oxides sont : PbO, CdO, CuO, HgO, ZnO, SnO, TiO^2. Sb^2O^3, fe^2O^3, Co^2O^3 (Fe Ti), O^3 Bi^2O^3 et Pb^3O^4. Ainsi, par exemple, le volume spécifique de l'antimoine étant = 120, celui de Sb^2, O^3 aura $2\times120+3\times32=336$, et le poids atomique de Sb^2O^3 étant 1913, sa densité sera $\frac{1913}{336} = 5{,}69$.

Certains oxides ne comportent pas ce nombre 32, pour le volume spécifique de l'oxigène. Ainsi, en transformant en bi-oxide un poids atomique d'étain (735 gr.) qui occupe un volume de 101 centimètres cubes, les 2 poids atomiques d'oxigène qui s'y combinent déterminent une augmentation de volume de 32 centimètres cubes; ainsi, dans cet oxide, un poids atomique d'oxigène ne remplit qu'un espace de 16 centimètres cubes. Les oxides pour lesquels il faut admettre ce nombre 16 pour l'oxigène sont SnO^2, SbO^2 et Cr^2O^3. Pour les oxides Cu^2O, AgO, Hg^2O, MoO^3, il faut enfin admettre que le volume spécifique de leur oxigène = 64.

18. Nous avons cherché à étendre ces vues à d'autres combinaisons, toujours dans le but de trouver le volume spécifique des corps composants. Il n'en est résulté pour le moment que des expressions plus simples, pour les observations de densité ou de volume spécifique. Ces expressions acquièrent de la vraisemblance en ce qu'avec elles il suffit de fort peu de supposition pour enchaîner un grand nombre de faits et pour les mettre dans un parfait accord avec l'observation. Cette vraisemblance a été corroborée plus tard par de nouveaux faits, dus à des recherches sur les combinaisons chimiques, et auxquels on n'a pu avoir égard à l'époque du premier examen de notre méthode.

Nous espérons pouvoir prochainement coordonner ces recherches; n'ayant à nous occuper ici que de ce qui a été fait jusqu'à ce jour, nous ne pouvons la traiter, d'autant moins qu'en exposant les nou-

Digitized by Google

veaux résultats, il faut aussi faire part des faits qui les appuient, ce qui dépasserait le cadre qui nous est tracé. C'est pour cette raison que nous avons conservé ici des nombres qui doivent nécessairement être vérifiés. Tel est celui du magnésium, celui du mercure, dont le volume spécifique (§4) est déduit de la densité de ce métal à l'état liquide, tandis qu'on devrait à la rigueur le déduire de la densité du métal solide, lorsqu'on veut calculer le volume spécifique des combinaisons mercurielles. Ces erreurs, du reste, sont sans importance, surtout ici, où nous ne faisons que résumer notre méthode.

Plusieurs autres hypothèses ont été émises à ce sujet depuis 1839; il serait superflu de les analyser, leur incertitude ayant été démontrée pour la plupart d'entre elles. Ces hypothèses sont celles de MM. *Persoz* (*Introduction à l'étude de la chimie moléculaire*, p. 249 et 831), *Ammermuller* (*Poggend.*, XLIX, p. 341, et *Ann. de Liebig et Wœhler*, XL, p. 180), *les plus récentes de M. Schroeder.* (*Die molecular volume des chemischen verbindungen Manheim*, 1843). Voir aussi M. *Jolly*, dans les *Annuaires d'Hildeberg*, p. 1844, n° 24 et 25, p. 373 et suiv. (*Bemerkungen zur volumthéorie.* Brunswick, 1844), *et celle de M. Baudrimont* (*Traité de chimie*, t. I, p. 128). M. Baudrimont réduit les poids atomiques dans le rapport de la moitié de celui de l'eau qu'il prend pour unité, et croit trouver « qu'il existe sensiblement un rapport simple entre les poids spécifiques et les poids moléculaires ramenés au même terme de comparaison. » Il faut néanmoins beaucoup de sensibilité pour saisir ce rapport. L'objection que fait ce savant à notre hypothèse repose sur la non-observation de ce qui est dit § 19.

Il en est de même d'une idée de M. Dumas (Thénard, *Traité de chimie*, t. V, p. 445) reprise plus tard par M. L. Gmelin (*Handbuch der chimie*, 4e édit., t. I, p. 53, 57, 78 etc. Voy. notre critique dans *Poggend.*, *Ann.* LIV, p. 202, etc.), suivant laquelle ce ne sont pas les espaces contenant des poids équivalents de différents corps qu'il faut étudier, mais bien les rapports de quantités d'atomes, pour des volumes égaux de matière.

19. Ce n'est qu'en ne perdant point de vue la théorie qui a été déduite des volumes des éléments dont les combinaisons chimiques ne possèdent qu'une vraisemblance relative qu'on peut essayer d'autres conclusions, auxquelles, du reste, il ne faut pas attribuer plus de valeur qu'il n'y a de vraisemblance dans la théorie qui en fait la base. De ce nombre sont, par exemple, les conclusions à l'appui de la théorie des hydracides, tirées des volumes spécifiques des sels (Voy. *Uber das specifische gewicht der chemischen verbindungen*, p. 52, etc.)

Digitized by Google

Une question qui se lie plus intimement à ce sujet est celle de savoir comment des éléments peuvent former des combinaisons isomorphes analogues, sans être isomorphes eux-mêmes. On croyait encore, il y a quelque temps, que l'isomorphisme est indispensable pour deux corps qui doivent former des combinaisons analogues et isomorphes, et c'est de ces dernières qu'on concluait à l'isomorphisme des éléments constituants. Il était difficile de contrôler de pareilles conclusions, puisque la majeure partie des corps simples cristallise dans le système régulier; mais comme certaines substances, qui ne sont à considérer ni comme analogues ni comme isomorphes, peuvent affecter les mêmes formes du système régulier, il en résulte qu'une même forme cristalline de deux substances n'implique pas toujours leur isomorphisme.

Par contre, on voit que certains corps simples peuvent former des combinaisons analogues isomorphes, sans qu'ils le soient eux-mêmes. Dans ce cas se trouvent, par exemple, plusieurs combinaisons de phosphore et d'arsenic, quoique le phosphore cristallise dans le système régulier, et l'arsenic dans le système hexagonal. Si maintenant nous nous rappelons que les cas d'isomorphisme les mieux établis sont toujours liés à une égalité parfaite ou, au moins, approchante des volumes spécifiques; si nous nous rappelons, de plus, les résultats qui se sont présentés comme les plus vraisemblables pour la composition des combinaisons d'après le volume, on concevra que les éléments correspondants des composés isomorphes analogues n'ont pas besoin d'être isomorphes eux-mêmes; de plus, on s'explique aisément comment des corps simples peuvent former des combinaisons analogues dont les volumes spécifiques se rapprochent suffisamment pour permettre l'isomorphisme, lors même que les éléments constituants ne jouissent nullement de cette dernière propriété à l'état isolé (*Poggend.*, LIII, p. 446). Deux corps à l'état libre peuvent, par exemple, posséder deux volumes spécifiques tout-à-fait différents, et néanmoins former des combinaisons analogues et isomorphes, dont le volume spécifique soit sensiblement le même; bien entendu que l'un des corps change de volume spécifique en entrant dans la combinaison. Si donc ce volume spécifique modifié se rapproche de celui sous lequel l'autre corps est combiné, il est évident que de leur union avec les mêmes volumes d'autres éléments résulteront des combinaisons analogues à volume spécifique sensiblement égal. Ces combinaisons isomorphes d'éléments qui ne le sont pas, sont encore possibles quand l'élément commun entre dans les deux avec un volume spécifique différent. Ainsi le chrome et le fer ne sont certes pas isomorphes, car le volume spécifique du premier est 69, celui du

Digitized by Google

dernier = 44; le rapport des deux s'écarte trop de l'égalité. Mais l'oxide chrômique renferme l'oxigène avec un volume spécifique = 16, l'oxide ferrique le contient avec un volume = 32 (§ 17), le volume spécifique de Cr^2O^3 est 2,69+3,16=186, celui de Fe^2O^3 est 2,44+3,32=184. Ces nombres, qui se rapprochent assez de l'égalité, justifient ainsi l'isomorphisme de ces deux oxides.

On voit encore plus souvent des corps non isomorphes former des combinaisons qui le sont, en s'unissant avec un grand excès d'un autre élément. Ainsi les volumes spécifiques du titane (=57) et du fer (=44) diffèrent suffisamment pour que ces métaux ne puissent être isomorphes ; mais en s'unissant avec 1 atome de fer et 3 d'oxigène (dont le volume spécifique est ici = 32), le titane forme la combinaison $TiFeO^3$, dont le volume spécifique est 57+44 +3,32=197 : or, celui de F^2O^8 est = 2,44+3,32=184. Proportion gardée, ces nombres ne sont pas trop éloignés l'un de l'autre pour s'opposer à l'isomorphisme.

De même encore, le chlore et le manganèse ne sont ni analogues ni isomorphes et néanmoins les hyperchlorates et les hypermanganates correspondants le sont; cette particularité ne peut s'expliquer autrement qu'en admettant que les éléments ajoutés, qui s'unissent dans la même proportion avec les corps en question (1 atome R et 8 d'oxigène), prédominent au point qu'ils contrebalancent la différence qui existe entre les autres éléments (chlore ou manganèse) qui s'y trouvent en moindre quantité. De pareilles circonstances pourraient aussi favoriser l'isomorphisme entre des combinaisons dans l'une desquelles une petite quantité d'hydrogène serait, par exemple, remplacée par du chlore, etc., etc.

Il est vrai que, pour devenir analogues et isomorphes, des combinaisons dont les éléments ne sont pas isomorphes se contentent d'une quantité d'autant moindre d'éléments communs que la différence entre les parties constituantes est moins tranchée, ou, ce qui revient au même, que les volumes spécifiques sont plus rapprochés.

20. Passons maintenant aux résultats que nous avons obtenus relativement au volume spécifique des liquides. Les recherches furent surtout faites sur des combinaisons organiques; elles ont d'autant plus d'intérêt pour nous qu'elles ont fait voir à l'évidence l'influence de la température sur les volumes spécifiques, chose qui, pour le moment, est presque impossible à saisir pour les combinaisons solides.

Nous avons trouvé en 1841 (*Poggendorff*, LIII, p. 207; plus complétement *Annales de MM. Liebig et Woehler*, XLI, p. 79 et suiv.) qu'il y a une même différence entre les volumes spécifiques

Digitized by Google

des combinaisons liquides analogues; que par exemple, le volume spécifique de chaque combinaison éthylique est plus grand de 234 que celui du composé méthylique correspondant; que le volume spécifique de l'acide hydraté est plus petit de 534 que celui de sa combinaison avec l'oxide éthylique, et plus petit de 300 que non composé methylique; nous avons vu, en même temps que ces régularités s'étendent à tous les liquides analogues.

Exemples.	Poids atom.	Poids spéc.	Vol. spéc.	Différence.
Iodide éthylique,	1942	1,907	1018	234
Iodide méthylique,	1766	2,253	784	
Acétate éthylique,	1100	0,886	1241	234
Acétate méthylique,	925	0,919	1007	
Benzoate éthylique,	1875	1,054	1779	234
Benzoate méthylique,	1700	1,1	1545	

Nous remarquâmes alors que ces différences ne sont que des nombres approximatifs, puisqu'elles ne sont constantes que pour des températures également éloignées des points d'ébullition.

21. Nous avons examiné plus exactement, quelque temps après, cette influence de la température dans l'étude des volumes spécifiques.

M. Schroeder avait énoncé dès 1841 (*Poggendorff*, t. II, p. 282 et suiv.) qu'il faut comparer les volumes spécifiques des liquides à des températures où les vapeurs de ces derniers possèdent la même tension. De notre côté, nous fîmes voir en 1842 (*Poggendorff*, LVI, p. 371 et suiv.; *Ann. de MM. Liebig et Woehler*, XLVI, p. 215 et suiv.) que l'alcool ($C^4H^{12}O^2$) qui contient les éléments de l'éther ($C^4H^{10}O$), plus de l'eau (H^2O), possède à son point d'ébullition un volume spécifique égal à la somme des volumes spécifiques de l'éther et de l'eau à leurs points d'ébullition. Mais ces points sont pour ces corps les températures auxquelles les tensions de leurs vapeurs sont égales à la pression de l'atmosphère, et, par conséquent, égales entre elles. La même chose se passe à des températures inférieures; les vapeurs d'alcool possèdent, par exemple, à 57° une tension = 313 millimètres de mercure; celles de l'éther possèdent la même tension à 16, et celles de l'eau à 77°.

Le volume spécifique de l'alcool est à 57° = 762, celui de l'éther à 16° = 647, celui de l'eau à 77° = 115, donc 762 = 647 + 115.

Ainsi, pour comparer les volumes spécifiques des liquides, il ne faut pas les déterminer aux mêmes températures; comme ils dépendent de la chaleur, il faut les prendre au moment où la chaleur exerce sur eux une égale influence, là où leurs vapeurs possèdent

Digitized by Google

une même fusion. Ce sont ces températures que l'on appelle correspondantes. Les points d'ébullition des liquides, tels qu'ils ont lieu sous la même pression atmosphérique, sont, par exemple, des températures correspondantes pour la détermination des volumes spécifiques de ces fluides. Une température de 57° pour l'alcool est correspondante avec celle de 16° pour l'éther, puisque ces liquides possèdent la même tension à ces degrés de chaleur.

Il n'y a que peu de liquides dont on connaisse les tensions de vapeurs à différents degrés de chaleur, et, par conséquent, les températures correspondantes. Pour avoir ces dernières, au moins approximativement, nous supposons avec Dalton qu'en s'écartant d'un même nombre de degrés au-dessous du point d'ébullition, les tensions sont encore égales entre elles ; on considère donc comme températures correspondantes celles qui se trouvent à égale distance des points d'ébullition.

22. En comparant plus attentivement, aux températures correspondantes, les volumes spécifiques des combinaisons organiques liquides, nous sommes parvenu dans ces derniers temps (*Ann. de Liebig et Woehler*, L, 71 et suiv.) à déterminer assez exactement les volumes spécifiques avec lesquels le carbone, l'hydrogène et l'oxigène sont renfermés dans ces combinaisons, pour pouvoir obtenir par le calcul, pour chaque degré de chaleur, le volume spécifique, et comme conséquence la densité de toute combinaison liquide formée de ces trois éléments, et dont on connait la composition atomique, ainsi que le point d'ébullition; le résultat du calcul s'accorde toujours très bien avec l'expérience. Nous y fûmes surtout conduit par cette observation, qu'à des températures correspondantes un poids atomique (100 parties) d'oxigène occupe le même espace dans une combinaison liquide que 2 at. (12,5 parties) d'hydrogène. L'alcool et l'acide acétique hydraté se distinguent, par exemple, dans leurs formules, en ce que celui-ci contient 2 at. d'oxigène de plus et 4 d'hydrogène de moins que celui-là; en d'autres termes, que 4 at. d'hydrogène du premier sont remplacés dans le dernier par 2 at. d'oxigène : or, le volume spécifique de O^2 étant égal à celui de H^4, il en résulte que l'alcool et l'hydrate d'acide acétique possèdent, à des températures correspondantes, le même volume spécifique.

Le poids atomique de l'acide acétique hydraté est = 750, son point d'ébullition = 118° ; le poids atomique de l'alcool est = 575, son point d'ébullition = 78 ; 750 grammes d'acide acétique occupent à 16° (c'est-à-dire à 102° au-dessous du point d'ébullition) un volume de près de 700 centimètres cubes ; ce même espace est rempli

Digitized by Google

par 575 grammes d'alcool à une température de 102° au dessous de son point d'ébullition, c'est-à-dire à — 24°.

Or, si nous représentons par (O) le volume spécifique de l'oxigène, par (H) celui de l'hydrogène, nous aurons d'après ce qui précède (O) = 2 (H). Mais l'expérience apprend que le volume spécique de l'eau ($H^{2}O$) à son point d'ébullition est :

$$2(H)+(O)=117,$$

d'où résultent les volumes spécifiques (H) = 29,25 et (O) = 58,5, avec lesquels l'hydrogène et l'oxigène sont contenus dans les combinaisons liquides prises à leurs points d'ébullition.

Tâchons maintenant de trouver (C) volume spécifique du carbone. L'observation nous montre qu'à son point d'ébullition l'éther ($C^{4}H^{10}O$) possède un volume spécifique = 663 qui est la somme de 4 (C) + 10 (H) + (O). Or, d'après ce qui précède, 10 (H) + (O) = 10,29,25 + 58,5 = 351, nombre qui, retranché de 663, donne pour reste 312 comme valeur de 4 (C). Donc (C) = 78 est le volume spécifique du carbone dans des combinaisons liquides prises à leur point d'ébullition.

Il est commode pour les calculs de considérer les volumes spécifiques du carbone, de l'hydrogène et de l'oxigène comme des produits à facteur commun. Les nombres trouvés précédemment s'expriment alors plus simplement par :

$$(C)=78=8\times 9,75;$$
$$(H)=29,25=3\times 9,75;$$
$$(O)=58,5=6\times 9,75.$$

Les volumes spécifiques que possèdent les éléments dans les combinaisons sont plus petits au-dessous des points d'ébullition qu'à ces points mêmes. Cette diminution de volume peut être considérée conformément à l'expérience comme un décroissement du facteur commun 9,75. Ainsi, pour une température qui est de D° au-dessous du point d'ébullition, ce facteur est de D × 0,01 plus petit qu'à ce point même. Supposons une combinaison qui bout à 80°, à 60° (par conséquent à 20° au-dessous du point d'ébullition), le volume spécifique du carbone sera = 8 × (9,75 — 20, 0,01) = 8 × 9,55 = 76,4. Dans une combinaison dont le point d'ébullition est à 137, le volume spécifique de l'oxigène à 13° sera = 6 × (9.75 — 124 × 0,01) = 51,06 (D étant ici, d'après ce qui précède, = 137 — 13 = 124).

En résumé, le volume spécifique d'une combinaison liquide formée

Digitized by Google

de a, atomes de carbone, b, atomes d'hydrogène, et c, atome d'oxigène, est exprimée par une température qui s'écarte de D° du point d'ébullition par :

$$(8a + 3b + 6c) \times (9{,}75 - 0{,}01\ D.).$$

Soit à calculer d'après cette formule le volume et le poids spécifique de l'éther carbonique à 19° ; son point d'ébullition est 126°, donc D est ici $= 126 - 19 = 107$. La composition atomique de l'éther carbonique est $C^5H^{10}O^3$, son volume spécifique sera donc à 19° :

$$(8{,}5 + 3{,}10 + 6{,}3) \times (9{,}75 - 0{,}01.\ 107) = 88 \times 8{,}68 = 764$$

et le poids atomique de l'éther carbonique étant $= 737{,}5$, son poids spécifique à 19° sera $= \frac{737{,}5}{764} = 0{,}97$.

L'acide eugénique possède la formule $C^{20}H^{24}O^4$; son point d'ébullition est à 243°, et son poids atomique = 2050. Pour trouver son poids spécifique à 8°, on a d'abord $D = 243 - 8 = 235$; on trouve alors le volume spécifique de cet acide par :

$$(8{,}20 + 3{,}24 + 6{,}4) \times (9{,}75 - 0{,}01.\ 235) = 1894,$$

d'où l'on tire le poids spécifique $\frac{2050}{1894} = 1{,}08$.

Si l'un des éléments en question devait manquer, on le considère comme s'il y en avait 0 atomes en combinaison. Un composé C^2H^2 bouillant à 85°, possède, par exemple, à 15°, un volume spécifique :

$$(8{,}2 + 3{,}2) \times (9{,}75 - 0{,}01.\ 70) = 199 ;$$

le poids atomique de C^2H^2 étant $= 162{,}5$, on en déduit le poids spécifique à 15° à $\frac{1625}{199} = 0{,}82$.

Pour ce qui concerne les autres conséquences auxquelles a conduit cette formule, ainsi que le degré de certitude qu'elle mérite, nous ne pouvons que renvoyer au mémoire original.

Les volumes spécifiques avec lesquels le carbone, l'hydrogène et l'oxigène sont contenus dans les combinaisons liquides, sont mieux déterminés, et les nombres qui les représentent méritent plus de confiance que ceux que l'on peut attribuer dans ces combinaisons au soufre, à l'azote, au chlore. Néanmoins nous avons cherché dans le travail cité à arriver à des déterminations approximatives.

Digitized by Google

[*N. B.* La formule donnée dans ce mémoire est la suivante :

Le volume spécifique de toute combinaison liquide formée de *a* at. de carbone, *b* at. d'hydrogène, *d* at. de chlore, *c* at. d'azote, *f* at. de soufre, se trouve pour une température qui s'écarte de D° du point d'ébullition de la combinaison par :

$$(8\,a+3\,b+6\,c+14\,d+9\,e+15\,f)\times(9{,}75-0{,}01\,D.)$$

Cette formule est appuyée dans le mémoire en question par un bon nombre de déterminations qui s'accordent très bien avec l'expérience. L'usage de cette formule exige qu'on se serve des poids atomiques de M. Berzélius.]

23. Nous avons encore à parler de quelques travaux que M. Schroeder a publiés sur le volume spécifique des combinaisons liquides. En 1841, il annonça déjà (*Poggendorff*, t. LII, p. 282 et suiv.) qu'à des températures correspondantes les volumes spécifiques des liquides se trouvent dans un rapport simple, et depuis il a cherché à le prouver de différentes manières et avec de fortes contradictions. (*Die molecularvolume der chemischen verbindungen.* Mannheim, 1843, p. 125 et suiv.)

Ainsi, il voulut démontrer, en 1843, que les volumes spécifiques de l'eau, de l'éther, de l'alcool, sont entre eux dans le rapport simple de 3 : 17 : 20, et en 1844 qu'ils se trouvent dans celui de 1 : 5 : 6. Rien n'est donc encore prouvé. Néanmoins, M. Scrhoeder a combiné avec sa dernière théorie une formule qui, quoique péchant par la base, n'exprime pas moins les volumes et poids spécifiques de beaucoup de combinaisons formées de carbone, hydrogène et oxigène.

Dans un mémoire publié postérieurement au nôtre (*Die Siedchitze der chemischen verbindengen*, etc., Mannheim, 1844; en extrait dans *Poggendorff*, t. LXII, p. 341 ; voir notre critique dans *Poggendorff*, t. LXIII, p. 311, et *Bemerkungen zur Wolumtheorie*, Brunswick, 1844, p. 111 et suiv.). Mais, indépendamment des recherches qui y sont indiquées, il apporte également des preuves en faveur de notre hypothèse, que le volume spécifique de l'oxigène est, à des températures correspondantes, le double de celui de l'hydrogène.

Il fit de plus la supposition que le volume spécifique du carbone est égal à celui de l'oxigène, supposition qu'on ne peut pas faire *à priori* et que les observations rendent de plus inadmissible.

M. Scrhoeder obtint, d'après cette base, le volume spécifique du carbone trop petit, et par contre ceux de l'oxigène et de l'hydrogène trop grands. Ces sortes d'erreurs se compensant dans beaucoup de

Digitized by Google

combinaisons organiques, il a pu arriver à des résultats qui s'accordent assez bien avec l'observation.

Si l'on cherche à adapter sa manière de calculer aux poids atomiques de M. Berzélius et à l'exprimer par une formule, on obtient la suivante soit une combinaison contenant *a* atomes de carbone, *b* at. d'hydrogène, *c* atomes d'oxigène, considérée à une température inférieure de D°, à sonpoint d'ébullition, son volume spécifique sera :

$$(a+1/2b+c)\times 129,64-0,1594\,D+0,0003125\,D^2).$$

Les mêmes suppositions, qui sont contredites par les meilleures observations, constituent encore le fondement de sa nouvelle théorie sur les rapports simples qui doivent exister suivant lui entre les volumes spécifiques des liquides, théorie développée dans l'ouvrage publié en 1844. *Die siedchitz.* (Un extrait de la théorie que M. Schroeder a exposée dans cet ouvrage a été publié par lui dans les *Annales de Poggendorff*, traduit plus tard en français et inséré dans les *Annales de chimie et de physique*, 3e série, t. XIII, p. 157. Le peu de fondement de cette théorie est démontré dans la critique, *Die molecular volume der chemischen Verbindungen.*)

24. Nous venons de voir jusqu'à quel point il faut avoir égard à la température, dans l'étude des volumes spécifiques des liquides. Il est plus difficile de dire comment il faut envisager cette influence sur les corps solides, et quelles sont les températures qu'il faut considérer ici comme correspondantes. Des recherches entreprises dans ce sens (*Poggendorff*, t. LVI, p. 379 et suiv.) tendent à faire admettre pour température correspondante celles qui se trouvent à égale distance des points de fusion. Mais nous ne connaissons avec quelque certitude les corps dont la dilatation par la chaleur a été examinée dans ce but, qu'à des températures très limitées, et il est impossible pour le moment d'indiquer plus exactement les volumes spécifiques de tous les corps solides pris à des degrés également distants des points de fusion.

Pour ceux des corps dont les points de fusion sont sensiblement les mêmes ; pour ceux-là, les températures correspondantes sont indiquées par les mêmes degrés thermométriques ; on a vu de plus que pour une même élévation de température, leurs volumes s'accroissent d'une même quantité, ou dans un rapport simple. Ainsi un volume spécifique de zinc augmente, en passant de 0 à 100°, de la même quantité qu'un volume spécifique de bismuth ou un égal volume d'étain. Cette même élévation de température agrandit de même également un volume spécifique d'or et un volume de cuivre,

Digitized by Google

ou un volume spécifique de platine et un de palladium. En posant le volume spécifique de l'or = 65 à 0°, celui du cuivre sera = 44; en portant à 100° le premier il devient 65,23, et le second 44,23.

Ce principe, que les températures qui s'écartent également des points de fusion des corps solides sont correspondantes, explique pourquoi certains corps simples, tels que le potassium, possèdent en combinaison un autre volume spécifique qu'à l'état isolé (16). Les volumes spécifiques des corps solides ne sont donnés par l'expérience qu'à la température moyenne, ou, au moins, à des degrés qui s'en écartent peu; mais il n'y a que fort peu de substances inorganiques dont les points de fusion soient déterminés. Il est possible que le volume spécifique que nous attribuons au potassium à l'état de sel, dans le sulfate potassique, par exemple, et qui diffère de celui que possède le potassium libre, à la température moyenne, que ce volume appartienne également à ce métal, dans ce dernier état, mais ceci à une température qui s'éloigne du point de fusion du potassium, autant que la température moyenne est distante du point de fusion du sulfate potassique. Néanmoins cette question est sujette à des objections sérieuses, et elle ne sera résolue que quand nous connaîtrons mieux les points de fusion et la dilatabilité d'un bon nombre de substances inorganiques.

25. Occupons-nous encore de quelques découvertes qui ont mis hors de doute une dépendance du point d'ébullition de la constitution atomique.

Nous avons fait voir, en 1841, qu'à des combinaisons analogues correspond une même différence dans les points d'ébullition, et nous avons apporté à différentes reprises des preuves à l'appui (*Poggendorff*, LIV, 207; *Liebig et Woehler*, *Annales* XLI, 86 et suiv. 169 et suiv. Nos « *Observations sur la théorie des volumes*, » p. 131 et suiv.; plus complétement dans les *Annales de Liebig et Woehler*). Par exemple, les combinaisons acétyliques contiennent toutes dans leurs formules C^2H^2 de plus que celles du formyle qui leur correspondent, et les points d'ébullition des premières sont toujours de 19° plus élevés que ceux de leurs correspondants dans l'autre série.

	Point d'ébullit.	
Acide acétique hydraté,	118°	19
Acide formique hydraté,	99°	
Surchloride acétylique,	76°	19
Surchloride formylique,	57°	
Acétate éthylique,	74°	19
Formiate éthylique,	55°	

Digitized by Google

	Point d'ébullition.	
Acétate méthylique,	55°	19
Formiate méthylique,	36°	

De même encore les combinaisons éthyliques contiennent dans leurs formules C^2H^4 de plus que les composés méthyliques correspondants, et bouillent à 19° au-dessus de ceux-là.

	Point d'ébullit.	
Iodide éthylique,	65°	19
Iodide méthylique,	46°	
Alcool,	78°	19
Esprit de bois,	59°	
Formiate éthylique,	55°	19
Formiate méthylique,	36°	
Benzoate éthylique,	209°	19
Benzoate méthylique,	190°	
Acétate éthylique,	74°	19
Acétate méthylique,	55°	
Nitrate éthylique,	85°	19
Nitrate méthylique,	66°	

Une différence de point d'ébullition double correspond dans les combinaisons analogues de ce genre à une différence de composition double; de même si cette dernière est triple ou quadruple, etc. C'est ainsi que les combinaisons amyliques contiennent dans leurs formules $C^8H^{16} = 4\ C^2H^4$ de plus que les combinaisons méthyliques correspondantes: aussi leur point d'ébullition est-il plus élevé que celui de ces derniers de 4, 19° = 76°; elles contiennent dans leurs formules $C^6\ H^{12} = 3,\ C^2H^4$ de plus que celles de l'éthyle qui leur correspondent et bouillent à 3, 19° = 57° au-dessus de ceux-ci. Par exemple,

	Point d'ébullition.
Hydrate amylique,	135°
Hydrate éthylique,	78°
Iodide amylique,	122°
Iodide éthylique,	65°
Acétate amylique,	131°
Acétate éthylique,	74°

La même différence de composition et de point d'ébullition existe entre les combinaisons valériques et acétiques correspondantes.

Digitized by Google

	Point d'ébullition.
Acide valérique hydraté,	175°
Acide acétique,	118°
Valérate éthylique,	131°
Acétate éthylique,	74°

Des séries entières de combinaisons analogues démontrent cette régularité ; par exemple, les formules et points d'ébullition de :

		Point d'ébullition.
Formiate méthylique,	$C^4H^8O^4$	36°
Formiate éthylique,	$C^4H^8O^4+1(C^2H^4)$	55=36+1.19
Acétate éthylique,	$C^4H^8O^4+2(C^2H^4)$	74=36+2.19
Butyrate méthylique,	$C^4H^8O^4+3(C^2H^4)$	93=36+3.19
Butyrate éthylique,	$C^4H^8O^4+4(C^2H^4)$	112=36+4.19
Valérate éthylique,	$C^4H^8O^4+5(C^2H^4)$	131=36+5.19

Nous avons donné encore plusieurs séries pareilles dans notre mémoire inséré dans les *Annalen der chimie und pharmacie*, L, p. 131 et suiv. La série suivante, qui fut d'abord insérée, est surtout intéressante, maintenant que de nouvelles recherches lui ont donné une plus grande extension, en même temps qu'elles ont constaté la régularité annoncée depuis longtemps :

		Point d'ébullition.
Acide formique hydraté,	$C^2H^4O^4=C^2H^4O^4$	99°
Acide acétique hydraté,	$C^4H^8O^4=C^2H^4O^4+1(C^2H^4)$	118=99+1.19
Acide butyrique hydraté,	$C^8H^{16}O^4=C^2H^4O^4+3(C^2H^4)$	156=99+3.19
Acide valérique hydraté,	$C^{10}H^{20}O^4=C^2H^4O^4+4(C^2H^4)$	175=99+4.19

Les nouveaux membres de cette série sont :

		Point d'ébullition.
Acide caprique hydraté,	$C^{12}H^{24}O^4=C^2H^4O^4+5(C^2H^4)$	194=99+5.19
Acide caprylique hydraté	$C^{16}H^{32}O^4=C^2H^4O^4+7(C^2H^4)$	232=99+7.19

D'après la régularité indiquée, les points d'ébullition des acides caprique et caprylique doivent être à 194 et 232°. M. Fehling a déterminé maintenant ces points d'ébullition et a trouvé 202 et 236°, ce qui s'accorde avec le calcul d'une manière satisfaisante.

Cette régularité, que deux corps analogues, dont les formules diffèrent par C^2H^4, possèdent des points d'ébullition qui diffèrent par 19°, a été également constatée pour les bases organiques.

Digitized by Google

L'aniline a pour formule $C^{12}H^{14}N^2$; elle bout, d'après M. Hofmann, à 182°. La toluidine possède, d'après MM. Hofmann et Muspratt, la formule $C^{14}H^{18}N^2 = C^{12}H^{14}N^2 + C^2H^4$, et doit par conséquent bouillir à 182 + 19 = 201°. MM. Hofmann et Muspratt en ont déterminé le point d'ébullition ; ils ont trouvé = 198°.

On y trouvera encore d'autres différences de composition accompagnées des différences correspondantes entre les points d'ébullition. Les preuves en faveur de ces régularités ne manquent pas ; ainsi les hydrates des acides acétique, formique, butyrique, valérique, etc., possèdent un point d'ébullition plus élevé de 44° que celui de leurs combinaisons avec l'oxide éthylique, et plus élevé de 63 que ceux des combinaisons méthyliques, et le point d'ébullition de chaque alcool (esprit de bois, alcool, huile de pommes de terre), se trouve plus bas de 40° que celui de l'acide correspondant, obtenu par l'action des alcalis hydratés ou du noir de platine (hydrate d'acide formique, acétique, valérique, etc.).

26. A nos travaux sur les points d'ébullition des combinaisons analogues, se sont jointes des recherches de M. Gerhardt et plus récemment surtout de M. Schroeder. M. Gerhardt (*Revue scientifique*, t. VIII, p. 300 et suiv., et *Précis de chimie organique*, t. I, p. 155 et suiv.) chercha à déterminer l'influence que le plus ou moins de carbone ou d'hydrogène peut exercer sur les points d'ébullition des hydrogènes carbonés ; M. Schroeder a cherché à obtenir des nombres semblables et beaucoup d'autres encore. Il paraît ressortir du travail de ce dernier qu'à des différences égales dans la formule atomique (mais empirique) peut correspondre une même différence dans les points d'ébullition, quand même il n'y a pas de différence égale, dans la constitution rationnelle (pas d'analogie chimique), dans les combinaisons que l'on considère. Néanmoins M. Schroeder pense qu'une différence égale dans les points d'ébullition indique, à égalité de différence des formules atomiques (empiriques), une différence égale dans la constitution rationnelle, et, basé sur cette manière de voir, il a cherché à déterminer la composition de beaucoup de combinaisons organiques.

Ces résultats n'ont sous le point de vue chimique rien de fondé, et ne supportent l'examen d'aucune manière. (Voyez dans *Poggendorff*, LXIII, 243, notre critique de *Die Liedchize der chemischen Vorbindungen*, en extrait dans *Poggendorff*, LXII, 184 et 337, etc. Cet extrait a été inséré dans les *Annales de chimie et de physique*, 3e série, t. XIII, p. 145.) On a montré, dans la critique indiquée, que les opinions qui sont exposées par M. Schroeder ne sont ni fondées ni exactes. Ainsi, suivant lui, la constitution rationnelle du

Digitized by Google

butyrate méthylique est exprimée par : « Méthylène + triélayle + 2 at. d'oxide carbonique + bihydrogène (méthylen — triclayl — bikohlen oxid — bihydrogen.)» Celle de l'éther aconitique par «méthylène biélayle — 2 d'oxide carbonique — bihydrogène formyle-acide carbonique, etc.» Suivant lui, l'acide du butyrate éthylique n'est que métamère, et non identique avec celui du butyrate méthylique ; de même encore croit-il que l'acide de l'hydrate d'acide valérique possède une autre composition rationnelle que celui du valérate éthylique, etc. On a démontré de plus dans cette critique que M. Schroeder tourne dans un cercle vicieux en ne voulant déduire une constitution rationnelle que du point d'ébullition, et calculer ensuite celui-ci, d'après la constitution rationnelle obtenue précédemment. Il ne faut donc pas s'étonner si M. Schroeder revient à son point de départ, c'est-à-dire, si ses points d'ébullition, calculés d'après ses idées sur la constitution rationnelle, s'accordent avec l'expérience. Néanmoins cet accord ne prouve nullement la justesse de ses opinions.

De plus, M. Schroeder a fait observer qu'il faut doubler les formules de certaines combinaisons dont l'équivalent, tel qu'il est connu maintenant, exprime une condensation à 2 volumes pour la combinaison gazeuse (éther, par exemple); qu'alors les écarts dans les formules qui expriment les différences des points d'ébullition se correspondent exactement, quand on compare les corps qui se condensent à 2 volumes avec ceux qui se réduisent à 4. Du reste, nous savons encore trop peu pour pouvoir formuler nettement ces condensations à l'état gazeux, dans les recherches sur les points d'ébullition ; car les observations faites jusqu'à ce jour appuient également les opinions les plus divergentes, et rendent par conséquent de nouvelles recherches de plus en plus indispensables.

Partie chimique.

CHIMIE INORGANIQUE ET MINÉRALOGIE.

Arséniates de cuivre naturels, par Damour et Descloizeaux.

(Comptes-rendus de l'Acad. des scienc., 1845, numéro 3.)

M. Damour a établi pour ces minéraux, comme résultat de ses analyses, les formules suivantes :

Digitized by Google

1. *Olivénite*. En cristaux octaèdres, brillants, verts; pesanteur spécifique = 4,378, sur une gangue de quartz.

$$4CuO, (P^2O^5, AsO^5)+H^2O.$$

2. *Aphanèse*. En lames cristallines, un peu testacées, d'un bleu très foncé; pesanteur spécifique = 4,312.

$$(6CuO, (P^2O^5, As^2O^5)+3H^2O).$$

3. *Erinite* (napfuglimmer). En lames hexagonales, vertes et transparentes; pesanteur spécifique = 2,659.

$$6CuO, (P^2O^5, As^2O^5)+12H^2O.$$

4. *Liroconite*. En masse cristalline, bleu de ciel, avec gangue quartzeuse et ferrugineuse, complétement soluble dans l'ammoniaque, ce qui indique que l'alumine y est à l'état de combinaison.

$$2(6CuO, \{P^2O^5, As^2O^5\})+2Al^2O^3, (P^2O^5, As^2O^5)+32H^2O.$$

	1.	2.	3.	4.
Acide arsénique,	34,87	27,08	19,35	22,22
Acide phosphorique,	3,43	1,50	1,29	3,49
Oxide cuivrique,	56,86	62,80	52,92	37,18
Eau,	3,72	7,57	23,94	25,49
Alumine,			1,80	9,68
Oxide ferrique,		0,49		
	98,88	99,44	99,30	98,06

M. Descloizeaux a déterminé les caractères cristallographiques de ces quatre minéraux, qui tous proviennent du Cornwall.

L'*olivénite* dérive du prisme droit rhomboïdal : l'inclinaison des faces latérales de ce prisme = 110°,47', et le rapport entre un côté de la base et la hauteur b : h = 877 : 691.

La forme primitive de l'*aphanèse* peut être considérée comme un prisme rhomboïdal oblique, dont les faces latérales sont inclinées de 56°, et dont la base fait avec chacune d'elles un angle de 95°.

Les dimensions de ce prisme, déterminées par la condition que la face a' de Phillips soit le résultat d'un décroissement par une rangée sur l'angle solide antérieur de la forme primitive, sont les suivantes b : h = 23 : 41.

La forme primitive de l'*érinite* est un rhomboèdre aigu de

Digitized by Google

69°,48′, qui est toujours profondément tronqué par un plan perpendiculaire à son axe, de sorte que les cristaux sont toujours de petites lames hexagonales plus ou moins épaisses à bords trapéziens.

Un clivage très faible, perpendiculaire à l'axe du rhomboèdre, permet de diviser ces lames à l'infini, et d'en obtenir des feuillets micacés : il existe aussi des traces de division suivant les plans de la forme primitive.

Les cristaux de *liroconite*, pesanteur spécifique = 2,964, sont ordinairement des octaèdres aplatis, à base rectangulaire, mais souvent assez raccourcis pour avoir l'apparence d'un octaèdre obtus à base carrée.

Essai de classification des feldspaths et des minéraux analogues, par Deville.

(Comptes-rendus de l'Académie des sciences, 1845, numéro 3.)

En se fondant surtout sur la composition chimique, M. Deville propose de ranger les feldspaths et leurs analogues, les amphigènes, en deux familles groupées de manière à rappeler leur liaison intime. A la suite de ces corps anhydres, il place leurs hydrates correspondants, appartenant à la classe des zéolites, et qui, comme les premiers, se rencontrent dans les roches d'origine ignée. On obtient alors le tableau suivant :

FELDSPATHIDES.

1 : 3 : n 3.

Premier genre.

$1 : 3 : 6\ (\dot{R}\dddot{S}i + \dddot{R}\dot{S}i)$.

Première espèce. — Phyacolite.
Seconde espèce. — Labrador.

Deuxième genre.

$1 : 3\,9\ (\dot{R}\dddot{S}i + \dddot{R}\dddot{S}i^2)$.

Première espèce. — Oligoclose.
Seconde espèce. — Triphane (Regnault).

Digitized by Google

Troisième genre.

$1 : 3 : 12\ (\dot{R}\dddot{S}i + \dddot{R}\dddot{S}i^3)$.

Première espèce. — Orthose.
Deuxième espèce. — Albite.
Troisième espèce. — Pétalite.

AMPHIGÉNIDES.

$1 : 3 : n\ 4$.

Premier genre.

$1 : 3 : 4\ (\dot{R}^3\dddot{S}i + 3\dddot{R}\dddot{S}i)$.

Première espèce. — Anarthite.
Deuxième espèce. — Naphéline
Troisième espèce. — Paranthine.

Deuxième genre.

$1 : 3 : 8\ (\dot{R}^3\dddot{S}i^2 + 3\dddot{R}\dddot{S}i^2)$.

Première espèce. — Amphigène.
Seconde espèce. — Andésine (Obich).

Troisième genre.

$1 : 3 : 12\ (\dot{R}\dddot{S}i + \dddot{R}\dddot{S}i^3)$.

Première espèce. — Orthose.
Deuxième espèce. — Albite.
Troisième espèce. — Pétalite.

FELDSPATHIDES HYDRATÉS.

Premier genre.

$(\dot{R}\dddot{S}i + \dddot{R}\dddot{S}i)$.

Mésotype,	+ 2 aq.
Scolézite (Fuchs),	+ 3 aq.

Digitized by Google

Deuxième genre.

$(\dot{R}\,\ddot{S}i + \dot{R}\,\ddot{S}i^2)$,

Zéolite rouge d'Œdelfors,	+ 3 aq.
Chabasie,	+ 6 aq.

Troisième genre.

$(\dot{R}\,\ddot{S}i + \dot{R}\,\ddot{S}i^3)$.

Epistilbite,	+ 5 aq.
Stilbite,	+ 6 aq.
Heulandite ?	+ 8 aq.

AMPHIGÉNIDES HYDRATÉS.

Premier genre.

$(\dot{R}^3\,\ddot{S}i + 3\dot{R}\,\ddot{S}i)$.

Ittnerite (Gmelin),	+ 2 aq.
Thomsonite (Berzélius),	+ 3 aq.
Thorite (Berzélius),	+ 4 aq.

Second genre.

$(\dot{R}^3\,\ddot{S}i^2 + 3\dot{R}\,\ddot{S}i^2)$.

Analcine (H. Rose),	+ 2 aq.
Laumonite,	+ 4 aq.
Gismondine de Marbourg (Gmelin),	+ 5aq.

Les seuls minéraux analogues aux précédents, et qui ne rentrent point dans ce tableau, sont, pour les anhydres, la sodalite, et pour les hydrates, la heulandite, la prehnite.

L'apophyllite, ne contenant pas d'alumine, n'y rentre pas non plus.

Digitized by Google

Nouvelles séries de tungstates alcalins, par Marguerite.

(Comptes-rendus de l'Académie des sciences, 1845, numéro 5.)

Le moyen le plus simple pour se procurer ces tungstates consiste à faire bouillir un alcali avec un excès d'acide tungstique hydraté : la liqueur, arrivée au point de saturation, dépose, par le refroidissement, une certaine quantité d'hydrate ; ces dépôts continuent à se reproduire pendant l'évaporation; mais, finalement, il cristallise une combinaison sous des formes qui varient suivant sa composition. Ce sel peut de nouveau se dissoudre, bouillir et cristalliser intégralement en conservant ses propriétés.

Pour analyser ces sels, le meilleur moyen consiste à les traiter par plusieurs fois leur poids d'acide sulfurique pur et concentré. On élève peu à peu la température jusqu'au rouge.

Après la calcination, le résidu se compose d'un sulfate acide et de l'acide tungstique mis en liberté. On le jette sur un filtre et on le lave avec une dissolution de sel ammoniac.

Quand les dernières eaux de lavage ne précipitent plus par le chlorure barytique, on calcine le résidu pour chasser le sel ammoniac, et l'on ajoute quelques gouttes d'acide nitrique, soit pour faire disparaître les légères réductions que l'acide tungstique aurait pu éprouver, soit pour brûler le charbon du filtre.

Le résidu est l'acide tungstique pur; une simple calcination du sel donne, par la perte de poids, la proportion d'eau qu'il contient.

L'alcali ne peut être dosé par la quantité d'acide sulfurique fixé, parce que l'acide tungstique décompose le sulfate neutre à la température qu'il faut produire pour détruire le bisulfate.

Ce procédé analytique a fourni les résultats suivants.

1. *Bitungstate sodique* (cristaux lamelleux), décomposable à froid par les acides.

$$(2WO^3, NaO+4\ 1/2\ HO).$$

2. *Tritungstate ammonique* (cristaux octaédriques) fond dans son eau de cristallisation et sous l'eau, comme le phosphore.

$$(3WO^3, NH^4O+5HO).$$

3. *Quadritungstate sodique* (cristallisé en tables au sein d'une liqueur acide).

$$(4WO^3, NaO+3HO).$$

Digitized by Google

4. *Pentatungstate potassique* (cristaux prismatiques).

$$(5WO^3, KO+8HO).$$

5. *Hexatungstate ammonique* (cristaux lamelleux).

$$6WO^3, NH^4O+6HO.$$

6. *Bitungstate d'ammoniaque et de potasse.*

$$(2WO^3, KO+2WO^3, NH^4O+6HO).$$

Ces tungstates jouissent de propriétés intéressantes.

Mis en contact avec les acides chlorhydrique, nitrique, sulfurique, ils ne sont pas décomposés à froid, et même jusqu'à la limite de l'ébullition. Ce n'est qu'au bout d'un temps plus ou moins long, à froid et à l'ébullition, qu'ils laissent déposer de l'acide tungstique.

Cette stabilité semble devenir d'autant plus grande que le degré d'acidité est plus élevé. Ainsi les tungstates et bitungstates sont décomposables à froid par les acides; le quadritungstate est tout à-fait stable.

Leur solubilité est loin de diminuer en raison de la quantité d'acide qu'ils contiennent, car le quadritungstate sodique est plus soluble que le bitungstate.

Traités par un excès d'alcali, ils redeviennent décomposables à froid par les acides, parce qu'ils sont ramenés à l'état de tungstates neutres. Sous l'influence d'un alcali caustique ou d'un carbonate, il se forme un précipité blanc d'hydrate d'acide tungstique, combiné à une certaine quantité d'alcali, qui, à froid, est insoluble dans l'excès d'alcali, et qui ne disparaît qu'à l'ébullition; il est instantanément soluble dans la dissolution d'un tungstate neutre. (On sait que l'hydrate d'acide tungstique précipité par un acide est facilement soluble dans les alcalis.)

Ce même précipité, formé dans des liqueurs assez étendues, et en évitant un trop grand excès d'alcali, se dissout par l'addition d'un acide.

Ces tungstates ont une réaction acide et une amertume très prononcée.

Chauffés à 220°, ils perdent une certaine quantité d'eau de cristallisation; calcinés, ils deviennent anhydres, jaunes et insolubles, et contiennent alors de l'acide tungstique libre.

Par double décomposition, ils forment des tungstates insolubles correspondants qui sont solubles dans ces acides; mais bientôt ils

Digitized by Google

perdent cette propriété dans le milieu même de leur formation ou après la dessiccation, soit spontanée, soit dans le vide. Leurs conditions de stabilité en présence des acides semblent donc être inhérentes à leur état d'hydratation.

L'acide tungstique présente, relativement aux acides organiques, des propriétés analogues à celles qu'il montre envers les acides minéraux. Ainsi, par exemple, sa stabilité complète à l'état d'hydrate dans les acides oxalique, tartrique et leurs sels; sa précipitation par les alcalis dans certaines circonstances, et la propriété qu'ont ces acides de décomposer les tungstates sans précipiter l'acide tungstique.

Sur le tungstène, par Saint-Èvre.

(Comptes-rendus de l'Acad. des sciences, 1845, numéro 6.)

Le tungstène obtenu en réduisant le perchlorure par l'hydrogène est pyrophorique, et brûle tranquillement au contact de l'air en se transformant en acide bleu.

Le produit obtenu en réduisant le perchlorure par l'ammoniaque est un azoture qui brûle avec dégagement de lumière à une température peu élevée en fournissant de l'acide tungstique.

Le perchlorure s'obtient aisément en faisant passer au rouge un courant de chlore sec sur du tungstate ammonique.

Les deux autres chlorures s'obtiennent : l'un, par l'action du chlore sur un mélange d'acide tungstique et de charbon; l'autre, par l'action du chlore sur le sulfure, préparé en traitant un oxide quelconque de tungstène par la vapeur de soufre ou par l'hydrogène sulfuré.

Ces chlorures, en contact avec l'eau, produisent de l'acide chlorhydrique et de l'acide tungstique.

M. Saint-Èvre pense que la calcination du tungstate ammonique dans des courants d'hydrogène, d'acide carbonique, d'oxide de carbone, d'acide chlorhydrique et sulfureux, fournit autant d'oxide particuliers, dont l'un serait identique avec celui qui existe dans le tungstate double d'oxide tungstique et de soude de M. Woehler?

Digitized by Google

Sur les principaux minerais de titane, par H. Rose.

(Ann. der Chem. u. Pharm. v. Lieb. et Woh., 1845, numéro 3.) — (Ann. de Pogg., 1844, numéro 8.)

1. *Fer titané.* La composition de ces minerais varie suivant la localité. Cristallisés, ils sont isomorphes avec le fer oligiste; ils ont une couleur très foncée, presque noire, et sont plus ou moins magnétiques; quelques fers titanés ne le sont pas du tout. Ceux d'Egersund ont donné par l'analyse les résultats suivants :

	Mosander.	V. Kobel.	H. Rose.
Acide titanique,	41,98	43,24	48,73
Oxide ferrique,	25,95	28,66	42,70
Oxide ferreux,	29,04	27,91	13,57

M. Rose, considérant que l'oxide de titane a la même composition que l'oxide ferrique, qu'il est d'une couleur foncée, qu'il s'oxide avec une telle facilité qu'il décompose l'eau avec dégagement d'hydrogène, et qu'en présence de l'oxide ferrique, il réduit celui-ci en oxide ferreux en passant lui-même à l'état d'acide titanique, en conclut que le fer titané ne renferme ni oxide ferreux ni acide titanique, mais de l'oxide de titane (Ti^2O^3) et de l'oxide ferrique. Cette hypothèse devient extrêmement probable par ce fait, que la quantité d'oxide ferreux trouvé ou admis dans le fer titané est toujours proportionnelle à celle de l'acide titanique, de manière que les minéraux pauvres en acide titanique n'ont fourni que très peu d'oxide ferreux et beaucoup d'oxide ferrique. Ainsi, par exemple, M. Kobell a trouvé dans un fer titané de Suisse, nommé *Basomelan* :

Acide titanique,	12,67
Oxide ferreux,	4,84
Oxide ferrique,	82,49

et dans une autre variété encore, plus pauvre en acide titanique, sur 3,57 p. c. de ce composé seulement 1,61 d'oxide ferreux. En outre, la forme cristalline et les propriétés physiques du fer titané parlent également pour la préexistence de l'oxide de titane dans ces minerais.

2. *Titanit* ou *sphène* :

$$(\dot{\dot{S}}i, 3Ca + \dot{\dot{S}}i, 3\dot{\dot{T}}i).$$

Quelquefois la chaux est remplacée en petite partie par de l'oxide

Digitized by Google

ferreux. Les titanites de Zillerthal, de Passau et d'Arendal en contiennent 1,07 p. c., 3,93 p. c. et 5,63 p. c.

Ce minerai est très difficile à analyser, surtout pour ce qui concerne la séparation de la silice et de l'acide titanique, et la décomposition complète du composé. L'acide sulfurique concentré et l'acide fluorhydrique l'attaquent le plus facilement.

M. Rose a fait, à cette occasion, quelques observations importantes sur la décomposition des silicates par les acides concentrés.

Dans ce cas, l'acide silicique mis en liberté pouvant être plus ou moins pur, on le traite par une solution bouillante de carbonate de soude qui dissout la silice pure. Lorsqu'il reste un résidu, on le considérait ordinairement comme du minerai non attaqué; mais M. Rose a reconnu que, dans la plupart des cas (surtout lorsque le minerai appartient à la classe des zéolites), ce résidu n'est formé presque que de silice combiné, avec très peu de chaux et d'alumine (90-96 et 97 p. c. de silice). On commet donc une erreur moindre en considérant ce résidu comme de la silice pure, que comme du minerai non attaqué, en supposant que celui-ci ait été réduit en poudre assez ténue.

Ces résidus sont surtout considérables pour les silicates contenant de l'acide titanique; ils contiennent alors aussi plus de bases qu'à l'ordinaire. Ces observations doivent surtout être prises en considération lorsqu'il s'agit de l'analyse de roches composées, qu'on sépare par les acides en deux parties : l'une non attaquable et l'autre attaquable. On trouve dans ce cas très facilement trop de silice pour la première, et trop peu pour la seconde partie.

En décomposant un silicate par fusion avec le bisulfate potassique, on trouve presque toujours un excès assez considérable, parce que la silice peut former avec le sulfate de potasse un composé tout-à-fait insoluble dans l'eau.

3. *Tschewkinite.* Densité 4,5296. Ce minerai chauffé se boursoufle et devient très poreux; il présente en même temps un phénomène d'ignition comme la gadolinite; au rouge blanc, il fond en une masse noire cristalline, à cassure conchoïde; sa densité est alors 4,717. Traité par l'acide chlorhydrique à chaud, la silice s'en sépare à l'état de gelée, qui, traitée par le carbonate de soude, laisse un résidu insoluble assez considérable (4 p. c.).

La composition de ce minerai est assez compliquée.

Digitized by Google

Silice,	21,04
Chaux,	3,50
Magnésie,	0,22
Oxide manganeux,	0,83
Potasse et soude,	0,12
Oxides de cérium, de lanthane, de didym,	47,29
Oxide ferreux,	11,21
Acide titanique,	20,17
	104,38

4. *Pérowskite.* On en connait deux variétés : l'une noire et opaque, l'autre d'un rouge brun et translucide ; sa composition est très simple ($\dot{Ca}\,\ddot{Ti}$). Une très petite quantité de chaux se trouve remplacée par de l'oxide ferreux : 2 à 4 p. c.

Sur l'aluminium, par Woehler.

(Ann. der Chem. u. Pharm. v. Liebig et Woehler, 1845, numéro 3.)

L'aluminium se prépare facilement en faisant passer du chlorure aluminique en vapeur sur du potassium fondu et porté au rouge. Il est avantageux d'employer des tubes métalliques ; on peut même se servir d'un creuset ordinaire, dans lequel on place un creuset en platine, contenant le potassium ; dans l'intervalle qui sépare les deux vases, on tasse un poids égal de chlorure aluminique ; le couvercle étant bien luté sur le creuset extérieur, on chauffe le tout au rouge. On laisse refroidir, et on sépare par de l'eau le chlorure potassique formé de l'aluminium. Ce métal se présente sous forme de poudre grise, composée d'une multitude de petits globules métalliques, dont quelques uns ont souvent les dimensions d'une grosse tête d'épingle. L'aluminium est donc fusible à la température à laquelle s'opère la réduction ; il a la couleur et l'éclat de l'étain ; sa densité = 2,50 à 2,67. Il est très ductile, non magnétique, et ne s'oxide point à l'air. Il ne se décompose pas à l'eau froide, mais bien à l'eau à 100° ; une solution alcaline caustique le dissout facilement avec dégagement d'hydrogène ; l'ammoniaque agit plus difficilement, et l'alumine formée reste à l'état gélatineux et en conservant la forme des globules.

On peut chauffer l'aluminium presque au point de fusion dans

Digitized by Google

l'oxigène, sans qu'il s'oxide rapidement; mais à une température plus élevée, il brûle avec une grande vivacité et se transforme en alumine fondue.

Il ne précipite point le plomb et l'argent de leurs solutions dans l'acide nitrique, mais bien de leurs solutions dans les alcalis; il en est de même de l'étain.

Le cuivre est précipité immédiatement de ses dissolutions salines.

M. Woehler a également déterminé la densité du magnésium, qui est = 1,87; M. H. Kopp, de son côté, a trouvé les nombres 1,71 et 1,69. Ce métal se dissout avec dégagement d'hydrogène dans des solutions de chlorure et de carbonate ammoniques. Il réduit de même avec dégagement de gaz les sels de plomb et d'argent.

Sur la composition des hydrates cristallisés de baryte et de strontiane, par Filhol.

(Journ. de pharm. et de chim., 1845, numéro 4.)

L'hydrate cristallisé de baryte = ($BaO + 8H^2O$) fond déjà à 100°. Sa densité à 16° = 2,188.

L'hydrate cristallisé de strontiane = ($SrO + 9H^2O$) a pour densité 1,911'' à 16°.

[*Nota.* La formule de la baryte cristallisée, admise ordinairement d'après les analyses de Smith, R. Philipps et Noad = $BaO + 9H^2O$. M. H. Rose a même trouvé 10 at. d'eau. Lorsqu'elle a été desséchée longtemps à 100°, elle se transforme en une masse blanche, cassante, dont la composition = $BaO + 2H^2O$, et qui ne se convertit qu'à une température voisine du rouge en hydrate ordinaire fondu BaO, H^2O. Quant à la strontiane, l'hydrate cristallisé avait toujours été considéré comme ($SrO + 9H^2O$) d'après les analyses de Smith et Noad. Le composé perd déjà à 100° 8 at. d'eau, et se transforme en hydrate (SrO, H^2O). M. Filhol a donc confirmé la composition déjà antérieurement admise pour les cristaux de strontiane.]

Sur un carbonate double de potasse et de soude, par Marguerite.

(Comptes-rendus de l'Acad. des scienc., 1845, numéro 11.)

Ce carbonate, dont la composition a été trouvée égale à $2(CO^2, NaO) + CO^2, KO + 18\,H^2O = 2(CO^2, NaO + 8\,aq.) + CO^2\,KO + 2\,aq.$)

Digitized by Google

s'était formé accidentellement par l'évaporation des eaux-mères d'une fabrique de prussiate de potasse. On le reproduit facilement en dissolvant du carbonate de soude dans une solution assez concentrée de carbonate de potasse.

Ce sel double est très soluble à froid et à chaud ; mais l'eau pure le décompose en carbonate de soude qui cristallise avec 10 atomes d'eau, et en carbonate de potasse qui reste en dissolution ; les cristaux retiennent une grande quantité d'eau d'interposition et fondent dans leur eau de cristallisation vers 40°. Ils s'effleurissent instantanément dans le vide ; mais, à l'air libre, l'efflorescence est presque nulle, ou du moins excessivement lente.

Sur l'acide bismuthique, par M. Heintz.

(Ann. v. Pogg., 1844, numéro 12.)

En traitant de l'oxide bismuthique tenu en suspension dans une solution très concentrée et bouillante de potasse, par un courant rapide de chlore, on obtient (ainsi que l'avait déjà trouvé M. Arppe) une combinaison rougeâtre qui, lavée avec de l'eau et desséchée à 100°, constitue un mélange d'oxide bismuthique (Bi^2O^3) avec du bismuthate potassique hydraté

(Bi^2O^5, $KO + H^2O$).

En effet, l'analyse donna les nombres suivants :

Bi	=	71,59
Ox	=	12,75
KO	=	12,94
H^2O	=	2,33
		99,61

En calculant ces nombres d'après la formule Bi^2O^5, on a :

		Calcul.	Expérience.
2 Bi	=	84,18	84,88
5 O	=	15,82	15,12
		100,00	100,00

Les considérations suivantes montrent avec une grande probabi-

Digitized by Google

lité que ce corps rouge est du bismuthate de potasse hydraté, mélangé avec un peu d'oxide bismuthique.

L'oxigène de la potasse = 2,19 est à peu près égal à celui contenu dans l'eau = 2,07. En calculant la quantité de Bi^2O^5 combinée avec KO, on trouve 69,34, composés de 58,37 bismuth + 10,97 oxigène. Mais l'analyse a fourni 71,59 bismuth, et 12,75 oxigène; il reste donc 13,22 de métal, et 1,78 d'oxigène, qui correspondent à la composition de l'oxide de bismuth Bi^2O^3, puisque 13,22 exigent dans ce cas 1,49 oxigène, qui ne diffère que de 0,29 de l'oxigène trouvé.

En traitant ce composé par l'acide nitrique froid, d'une densité = 1,15 à 1,20, on en extrait une partie de la potasse et de l'oxide de bismuth; mais en même temps l'acide Bi^2O^5 est également altéré et perd une petite quantité d'oxigène.

Lorsqu'on substitue à la solution très concentrée de potasse une solution plus étendue, on obtient par l'action du chlore un composé noirâtre, qui, traité par l'acide nitrique, prend une couleur brune et n'est autre chose que le suroxide bismuthique BiO^2, combiné à de petites quantités de potasse et d'eau.

On a donc, pour le bismuth, la série d'oxidation correspondante à celle de l'antimoine.

Bi^2O^3 Oxide bismuthique,

Bi^2O^4 ou (BiO^2) ou $(Bi^2O^5+Bi^2O^3)$ { Suroxide bismuthique, Acide bismutheux,

Bi^2O^5 Acide bismutique.

M. Heintz, en analysant le phosphate bismuthique obtenu en précipitant une solution acide de nitrate par du phosphate de soude, et lavant le précipité blanc cristallin avec de l'acide nitrique faible, lui a assigné la formule :

$$(P^2O^5, Bi^2O^3).$$

Le sel traité à chaud par un courant d'hydrogène se désoxide; il se dégage de l'eau, du phosphore, et il reste du bismuth contenant encore du phosphore.

Digitized by Google

CHIMIE VÉGÉTALE ET ORGANIQUE.

Sur les combinaisons azotées, par A. Laurent.

(Comptes-rendus, 1845, nnméro 15.)

M. Laurent a énoncé la loi de composition suivante pour les corps azotés : que si le nombre des atomes d'azote est divisible par 2, celui des atomes d'hydrogène doit également l'être par 2; que si l'azote est divisible par 4, le nombre d'atomes d'hydrogène doit être également divisible par 4. En d'autres termes, la somme des atomes d'azote et d'hydrogène doit être divisible par 4. Cette loi doit se maintenir dans le cas des substitutions.

La composition de plusieurs composés organiques étant contraire à cette théorie, elle a été revue par M. Laurent.

Quinine.

Ancienne formule, $C^{20}H^{24}N^2O^2$
Formule corrigée, $C^{19}H^{22}N^2O^2$.

Quinoéline ou leukol.

$C^{18}H^{14}N^2$,

nouvelle analyse de M. Gerhardt.

MM. Hofmann et Gerhardt ont montré l'identité de la quinoéline avec le leukol. Les anciennes formules adoptées étaient :

Leukol, $=C^{18}H^{16}N^2$ (Hofmann).
Quinoéline, $=C^{19}H^{20}N^2$ (Gerhardt) ancienne formule.
— $=C^{19}H^{16}N^2$ (Bromeiss).

On conçoit maintenant facilement la transformation de la quinine en quinoéline.

$C^{19}H^{22}N^2O^2 = C^{18}H^{14}N^2 + CO^2 + H^8$.
(Quinine.) (Quinoléine.)

Cinchonine.

Ancienne formule, $C^{20}H^{24}N^2O$
Nouvelle formule, $C^{19}H^{22}N^2O$
Chlorhydrate de cinchonine, $C^{19}H^{22}N^2O + H^2Cl^2$
Chloroplatinate de cinchon., $(C^{19}H^{22}N^2O + H^2Cl^2) + Cl^4Pt + H^2O$.

Digitized by Google

La conversion de la cinchonine en quinoéline se conçoit aisément en faisant intervenir 1 at. d'eau.

$$C^{19}H^{22}N^2O + H^2O = C^{18}H^{14}N^2 + CO^2 + H^{10}.$$
(Cinchonine.) (Quinoléine.)

Morphine.

Anciennes formules,	$C^{34}H^{36}N^2O^6$ / $C^{35}H^{40}N^2O^6$
Nouvelle formule,	$C^{34}H^{38}N^2O^6$
Hydrochlorate de morphine,	$C^{34}H^{38}N^2O^6 + H^2Cl^2$.

Piperin.

Isomère avec la morphine.

($C^{34}H^{38}N^2O^6$)

Lophine.

Ancienne formule,	$C^{46}H^{36}N^4$
Nouvelle formule,	$C^{46}H^{32}N^4$.

Picryle et ses dérivés.

Les nouvelles formules contiennent H^{30} au lieu de H^{28}.

Picryle,	$=C^{42}H^{30}N^2O^4$
Chloropicryle,	$=C^{42}H^{30}N^2O^4Cl^2$
Bromopicryle,	$=C^{42}H^{30}N^2O^4Br^2$.

Conine.

Ancienne formule,	$C^{16}H^{32}N^2$ (Ortigosa.)
Nouvelle formule,	$C^{16}H^{30}N^2$.

Narcotine et ses dérivés.

		Nouvelles formules.
Narcotine,	$C^{36}H^{50}N^2O^{14}$ (Blyth)	$=C^{36}H^{50}N^2O^{14}$
Narcogénine,	$C^{36}H^{38}N^2O^{10}$ (Blyth)	$=C^{36}H^{38}N^2O^{10}$
Cotarnine,	$C^{25}H^{26}N^2O^6$ (Blyth) / $C^{26}H^{26}N^2O^5$ (Woehler)	$=C^{26}H^{26}N^2O^6$
Acide opianique,	$C^{20}H^{18}O^{10}$ (Woehler)	$=C^{20}H^{20}O^{10}$
Opianate ammoniaque,	$C^{20}H^{24}N^2O^{10}$ (Woehler)	$=C^{20}H^{26}N^2O^{10}$
Sulfopianate ammonique,	$C^{20}H^{24}N^2O^8S^2$ (Woehler)	$=C^{20}H^{26}N^2O^8S^2$.

Digitized by Google

Les nouvelles formules expliquent bien les réactions.

Narcotine.

$C^{46}H^{50}N^2O^{14}$

se transforme par l'oxidation en cotarnine :

$C^{26}H^{26}N^2O^6$;

il reste donc :

$C^{20}H^{24}O^8$.

En oxidant on a :

$-H^4+O^2$.

Ac. opianique $C^{20}H^{20}O^{10}$ monobasique.

$+O^2$.

En oxidant encore, on a :

Ac. hémipinique $C^{20}H^{20}O^{12}$ bibasique.

La narcogénine se forme par l'oxidation de la narcotine ; mais comme cette oxidation donne aussi de la cotarnine, il en résulte que celle-ci s'unit à la première pour constituer la narcogénine.

Narcotine,	$C^{46}H^{50}N^2O^{14}$
Cotarnine,	$C^{26}H^{26}N^2O^6$
2 éq. de narcogénine,	$C^{72}H^{76}N^4O^{20}=2(C^{36}H^{38}N^2O^{10})$.

De plus, on a par l'oxidation de 2 éq. de narcotine :

2 éq. de narcotine,	$C^{92}H^{100}N^4O^{28}$
	$+O^4$
= 2 éq. de narcogénine,	$C^{72}H^{76}N^4O^{20}$
1 éq. d'acide opianique,	$C^{20}H^{20}\ O^{10}$
2 éq. d'eau,	$H^4\ O^2$
	$C^{92}H^{100}N^4O^{32}$.

Pour faire accorder les formules de l'alloxantine, de l'indigo

Digitized by Google

blanc, de l'isathyde et de la quinone verte avec sa loi, M. Laurent en double les formules.

M. Laurent a encore analysé les combinaisons suivantes :

Indine,	$C^{32}H^{20}N^4O^4$
Chlorindine,	$C^{32}(H^{16}Cl^4)N^4O^4$
Indine + potasse,	$C^{32}(H^{18}K)N^4O^4$
Hydrindine,	$C^{64}H^{52}N^8O^{10}$
Hydrindine + potasse,	$C^{64}(H^{50}K)N^8O^{10}$.

La transformation de l'isathyde en isatine et indine s'explique donc facilement.

$$\underset{\text{Isathyde.}}{2(C^{32}H^{24}N^4O^8)} = \underset{\text{Indine.}}{C^{32}H^{20}N^4O^4} + \underset{\text{Isatine.}}{2(C^{16}H^{10}N^2O^4)} + 2(H^4O^2).$$

M. Laurent conclut de ces réactions que lorsque l'isatine (C^{16}, etc.) se change en isathyde ou en indine, son poids atomique se double, et qu'en se transformant en hydrindine, il se quadruple; par analogie, on peut admettre une réaction semblable lorsque l'alloxane et l'indigo se convertissent en alloxantine et en indigo blanc.

Jusqu'ici il n'y a que le mellon et les mellonures qui ne puissent cadrer dans la loi ; c'est donc leur étude qui décidera si elle peut être conservée ou si elle doit être rejetée.

(*Note.* En adoptant les équivalents de M. Gerhardt, ainsi que ses formules, les règles de M. Laurent n'en sont pour la plupart que la conséquence immédiate et nécessaire ; les nouvelles théories trouvent chaque jour plus de faits qui parlent en leur faveur, et elles sont d'un grand secours dans les recherches de chimie organique. Ainsi M. Gerhardt avait déjà rectifié antérieurement les formules relatives à la narcotine et ses dérivés, et avait attiré l'attention des chimistes sur ce fait, que l'acide opianique est monobasique et l'acide hémipinique bibasique ; il a en outre indiqué dans son *Traité de chimie organique* (p. 517) que les formules de l'alloxantine et de l'indigo blanc devaient être doublées, en se fondant surtout sur la circonstance que ces corps entraient toujours pour 2 équivalents dans les réactions auxquelles ils donnent naissance.)

Digitized by Google

Interprétation des produits de décomposition de la narcotine, par Gerhardt.

(Comptes-rendus mensuels, 1845, numéro 2.)

En faisant bouillir la dissolution de narcotine dans l'acide hydrochlorique, 1 éq. de narcotine se dédouble en 1 éq. d'acide opianique et 1 éq. de cotarnine.

$$C^{46}H^{50}N^2O^{14} + 2H^2O + 4PtCl^4 = \begin{cases} 4PtCl^2 \\ 4H^2Cl^2 \\ C^{20}H^{20}O^{10} \text{ acide opianique.} \\ C^{26}H^{26}N^2O^6 \text{ cotarnine.} \end{cases}$$

Narcotine.

Ces deux substances se produisent également par l'oxidation de la narcotine par un mélange de suroxide manganique et d'acide sulfurique.

$$C^{46}H^{50}N^2O^{14} + O^4 = 2H^2O + C^{20}H^{20}O^{10} + C^{26}H^{26}N^2O^6.$$

Narcotine. Ac. opianique. Cotarnine.

L'acide sulfo-opianique de M. Woehler, obtenu en faisant agir l'hydrogène sulfuré sur l'acide opianique, n'est autre chose que l'acide opianique renfermant S^2 à la place de O^2.

$$C^{20}H^{20}O^{10} + H^4S^2 = H^4O^2 + C^{20}H^{20}(O^8S^2).$$

Ac. opianique. Ac. sulfopianique.

L'acide opianosulfureux se produit par l'action directe du gaz sulfureux sur l'acide opianique libre.

$$C^{20}H^{20}O^{10} + 2SO^2 = C^{20}H^{20}S^2O^{14}.$$

Enfin, l'acide opianique oxidé directement produit l'acide hémipinique. (Seule formule exacte de M. Woehler.)

$$C^{20}H^{20}O^{10} + O^2 = C^{20}H^{20}O^{12}.$$

Transformation de l'essence de moutarde en essence d'ail, par M. Gerhardt.

(Comptes-rendus mensuels, par L. et G., 1845, numéro 2.)

L'essence d'ail ne différant de celle de moutarde que par les éléments du cyanogène et du soufre, M. Gerhardt avait pensé que, par

Digitized by Google

l'action du potassium, il serait possible de transformer la dernière dans la première, et l'expérience est venue confirmer sa prévision. En projetant du potassium dans l'essence de moutarde desséchée, et en chauffant avec précaution, il se dégage un gaz, un sel blanc se dépose dans l'huile, et il distille de l'essence d'ail. Le sel n'est autre chose que du sulfocyanure de potassium.

$$C^6H^{10}N^2S^2 = C^6H^{10}S + C^2N^2 + S.$$

Ess. de moutarde. Essence d'ail.

L'essence d'ail rectifiée sur du potassium donne beaucoup de sulfure dans le résidu ; cette particularité fait penser à M. Gerhardt que l'essence d'ail naturelle renferme $C^7H^9N^5$, et que le sulfure d'allyle de M. Wertheim est un produit d'altération.

La réaction décrite pourrait alors se représenter ainsi :

$$C^6H^{10}N^2S^2 + K = H + CKNS + C^7H^9NS.$$

Digitized by Google

NOTE

SUR LA FABRICATION DE L'OUTREMER ARTIFICIEL EN ALLEMAGNE,

Par M. C.-P. Pruckner, chimiste manufacturier de Hof (Bavière).

Guimet et Robiquet sont les premiers qui aient fabriqué en grand de l'outremer artificiel pour les besoins du commerce. En 1830, Levercus en établit une fabrique dans les environs de Cologne, et en 1841, MM. Leykauf, Heine et compagnie montèrent à Nuremberg, pour la préparation de l'outremer factice, une usine qui appartient aujourd'hui à MM. Zeltner et Heine, et qui fournit au commerce des outremers factices de toutes les qualités et de tout prix.

Le procédé suivi par MM. Leykauf et Heine n'a pas été publié; mais nos relations personnelles avec ces messieurs, et les recherches qu'elles nous ont suggérées nous mettent à même de donner une idée de cette fabrication, et, nous l'espérons, jeter quelques lumières sur cette partie de la science.

Disons d'abord quelques mots sur le choix des matières premières, qui sont : de l'argile, du sulfate de soude, du charbon et un sel de fer, ordinairement du vitriol vert.

L'argile employée à la fabrication de l'outremer factice a la plus grande influence sur la couleur produite, et, probablement, la non-réussite de beaucoup d'essais tient à l'emploi d'une argile qui était trop ferrugineuse. J'emploie une argile blanche qui ne se colore pas au feu, et qui, par suite, ne renferme que très peu de fer; c'est une sorte de kaolin de couleur mate, happant à la langue, et formant avec de l'eau une pâte très courte, qui se trouve dans la principauté de Reuss, aux environs de Roschitz, et qui sert à la fabrication de la porcelaine. Cette argile renferme 42 à 43 p. c. d'alumine. Il va sans dire que, toutes choses égales d'ailleurs, on doit donner la préférence à l'argile la plus alumineuse.

Dans la fabrique de Nuremberg, on emploie surtout une terre sigillaire blanche (*bolus alba* des pharmaciens) qui vient de Tischenreuth dans le Haut-Palatinat.

A Nuremberg, on emploie le sulfate de soude impur, résidu des

Digitized by Google

fabriques d'acide muriatique, que l'on raffine dans l'usine même, ou que l'on achète tout raffiné. Cette opération, sur laquelle nous reviendrons plus loin, a principalement pour objet d'en séparer l'acide muriatique libre et les sels de fer, qui altéreraient et pourraient même complétement détruire la couleur bleue de l'outremer obtenu.

Le soufre en canon est trop connu pour qu'il soit nécessaire de s'y arrêter.

Comme charbon, le charbon de bois sec remplit parfaitement le but que l'on se propose d'atteindre. On emploie aussi quelquefois de la houille; dans ce cas, on la choisit sèche, riche en carbone, et donnant le moins possible de cendres blanches ou grisâtres non ferrugineuses.

La calcination des mélanges s'opère dans des moufles placés dans des fourneaux à réverbère, où il est beaucoup plus facile de régler la température et de surveiller la marche que dans les creusets. Ces fourneaux à moufle ont intérieurement $0^m,90$ à $1^m,00$ de largeur, et autant de profondeur; les moufles qu'ils renferment ont intérieurement $0^m,55$ à $0^m,60$ de largeur et $0^m,30$ à $0^m,37$ de hauteur; on peut, pour économiser le combustible, en placer 2 ou 3 dans le même fourneau. Elles sont construites en argile réfractaire, de la même manière que les pots de verrerie, et leur ouverture antérieure peut être fermée par une porte en fonte à coulisse, glissant sur des roulettes, qui, ainsi que leur fond, est percée d'une fente étroite servant à observer l'opération et à donner l'accès à l'air. Il va sans dire que les fourneaux sont munis de registres qui permettent d'en régler à volonté la température. On augmente la durée des moufles en les soutenant sur trois rangées de briques placées sur la sole et espacées entre elles pour laisser passage à la flamme, de manière à partager le foyer en deux chauffes, ayant chacune $0^m,20$ à $0^m,23$ de largeur et autant de hauteur. Lorsqu'on emploie, comme combustible, du charbon de bois, on peut le charger par une porte placée à la partie supérieure, comme dans les fourneaux d'essai.

Outre le fourneau à moufle, on se sert, pour la conversion du sulfate de soude en sulfure de sodium, d'un fourneau analogue à ceux employés dans la fabrication de la soude. Dans ma fabrique, j'ai seulement remplacé le foyer latéral unique que l'on emploie ordinairement par deux foyers plus petits placés vis-à-vis l'un de l'autre; l'expérience m'a démontré que l'on réalisait ainsi une économie notable de temps et de combustible, surtout pour les fourneaux où la longueur de la sole dépasse 2 mètres. La construction

Digitized by Google

de ces fourneaux est d'ailleurs trop connue pour qu'il soit nécessaire de nous y arrêter ici.

Enfin, l'usine doit renfermer des bocards et des moulins pour la pulvérisation des matières, etc.

Passons maintenant à la fabrication des matières premières et à la fabrication de l'outremer artificiel.

On met l'argile sèche, concassée en morceaux avec un pilon en bois, dans des cuves rectangulaires de 2 mètres de long sur un mètre de large; on l'arrose d'eau et on l'abandonne à elle-même pendant quelques jours. Elle se délite et se réduit en bouillie, que l'on purifie par lévigation et dépôt, de la même manière que dans les fabriques de porcelaine, pour en séparer le sable et les parties les plus grosses. On la conserve ensuite dans des cuves placées sous un hangar couvert, à l'état d'une pâte molle, dont on détermine rigoureusement par un essai la teneur en argile sèche, chaque fois qu'on veut s'en servir pour la préparation de l'outremer.

Pour préparer le sulfate de soude, on se sert, comme nous l'avons dit, des résidus de la fabrication de l'acide muriatique, que l'on calcine dans un fourneau à réverbère pour en chasser l'acide muriatique libre qu'ils renferment. On les concasse en morceaux de 1 décimètre cube environ, que l'on plonge un instant dans l'eau, parce que l'expérience a prouvé que l'acide libre se dégage beaucoup plus aisément d'un sel humide que d'un sel desséché; puis on les charge sur la sole du fourneau, que l'on remplit presque jusqu'à la voûte, en disposant les morceaux de telle sorte que la flamme puisse circuler aisément sur leurs faces. On chauffe graduellement jusqu'au rouge naissant, et jusqu'à ce que tout l'acide libre ait été expulsé. Le sel calciné est aussitôt pulvérisé au bocard ou entre des meules, en grains de la grosseur de ceux de la poudre de mine, et mélangé dans un tonneau tournant sur son axe, avec du charbon et de la chaux éteinte, dans les proportions suivantes :

Sulfate de soude,	100 parties.
Charbon de bois pulvérisé,	33
Chaux éteinte à l'air,	10

Ce mélange est introduit sur la sole du fourneau à réverbère, et recouvert de 3 à 4 centimètres de chaux éteinte, que l'on tasse dessus avec une pelle en fer. On ferme alors toutes les portes du fourneau, et dès que la masse est en pleine fusion, on la brasse vivement, en y rejetant quelques pelletées de charbon pulvérisé; puis on laisse reposer quelque temps, jusqu'à ce qu'il ne se dégage plus

Digitized by Google

de gaz enflammés de la surface du bain. On puise alors le sulfure de sodium avec des poches, et on le verse dans des moules plats en fonte, où il se solidifie.

On dissout dans l'eau bouillante le sulfure de sodium mélangé de carbonate de soude ainsi obtenu, puis on laisse clarifier la dissolution à l'abri du contact de l'air, dans des cuves de dépôt, où elle abandonne du carbonate et un peu de sulfate de soude cristallisé, qui est calciné et retraité comme il vient d'être dit, et du charbon très divisé qui ne se dépose qu'au bout de quelques jours. Il est très important de laisser reposer le plus longtemps possible, parce que les moindres particules de charbon suffisent pour altérer le feu de l'outremer. On sature ensuite à chaud cette dissolution décantée avec du soufre réduit en poudre, et on la concentre par l'ébullition jusqu'à ce qu'elle renferme 25 p. c. de bisulfure de sodium sec : elle a alors une densité d'environ 1,200 et marque 25° à l'aréomètre de Baumé. On emploie 40 à 50 parties de soufre par 100 p. de sulfure de sodium simple fondu.

Après avoir laissé déposer à la dissolution de sulfure de sodium le léger excès de soufre qu'elle renferme, on la transvase dans de grandes cruches en verre, que l'on bouche avec soin, pour la préserver du contact de l'air, et où on la conserve jusqu'au moment de l'employer.

Les matières premières étant préparées, on procède comme il suit à la fabrication de l'outremer : on évapore jusqu'à consistance sirupeuse, dans une chaudière plate en fonte, 50 kilogrammes de la dissolution de sulfure de sodium ci-dessus, puis on y ajoute une quantité d'argile lavée, encore humide, correspondant à 12 kilog. et demi d'argile sèche, et on mélange le tout aussi intimement que possible, à l'aide d'une forte spatule en fer. Pendant que la masse se laisse encore brasser aisément, on y ajoute, par petites portions, une dissolution de 150 grammes de sulfate de fer cristallisé, complétement exempt de cuivre, et on mélange le tout avec le plus grand soin. On peut, si l'on veut, ajouter d'abord la dissolution de sulfate de fer, puis ensuite l'argile. Aussitôt après l'addition du sulfate de fer, le mélange prend une couleur vert jaunâtre, due à la formation du sulfure de fer ; on continue à le brasser jusqu'à complète évaporation à siccité, et après l'avoir détaché de la chaudière, on le réduit immédiatement en poudre aussi ténue que possible.

Cette poudre est chargée dans les moufles, de manière à y former une couche de 6 à 8 centimètres d'épaisseur, ce qui correspond, pour chaque moufle, à un poids de 15 à 20 kilog. On continue le feu jusqu'à ce que toute la masse soit rouge, et on la laisse dans cet

Digitized by Google

état pendant trois quarts d'heure à une heure, en renouvelant fréquemment les surfaces et en donnant libre accès à l'air. La masse se colore successivement en brun de foie, rouge, vert et bleu. Cette opération réclame beaucoup d'attention et d'habitude : une trop faible chaleur ne produit point d'outremer, tandis qu'une chaleur trop forte et trop longtemps prolongée en altère la beauté.

On retire alors la matière du moufle, et on l'épuise en la lavant avec de l'eau. Les eaux de lavage, qui renferment du sulfure et du sulfate de soude, n'ont jusqu'ici reçu aucun emploi, mais on pourrait s'en servir pour préparer du sulfure de sodium. Les résidus du lavage sont égouttés dans des chausses en toile serrée, puis desséchés à l'étuve. Leur couleur est le plus ordinairement d'un vert ou d'un bleu noirâtre.

La masse desséchée est ensuite finement pulvérisée et passée au tamis de soie, puis calcinée de nouveau par portions de 5 à 7 kilogrammes, dans des moufles qui ne servent qu'à cette opération, et qui ont de $0^m,45$ à $0^m,50$ de large sur $0^m,80$ à $0^m,90$ de profondeur. On entretient un feu modéré, et une chaleur rouge peu intense suffit pour produire la couleur désirée. Aussitôt que la couleur bleue commence à paraître, on renouvelle constamment les surfaces avec un ringard en fer, jusqu'au moment où la couleur est devenue d'un beau bleu pur. L'opération dure d'une demi-heure à trois quarts d'heure ; il n'y a aucun avantage à la prolonger ou à augmenter l'intensité du feu. On retire la poudre et on la laisse refroidir au contact de l'air sur des plaques de granit. Il arrive souvent, mais pas toujours, que la couleur acquiert en refroidissant bien plus de feu et de beauté.

L'outremer est ensuite broyé sous des meules en granit de $1^m,50$ de diamètre, puis lavé et séparé, suivant la finesse, en divers degrés, qui portent les numéros $\frac{0}{0}$, 0, 1, 2, 3, 4, etc.

Un excellent procédé pour reconnaître la qualité de l'outremer consiste à le chauffer, sur la lampe à esprit de vin, dans un tube de verre, où l'on fait passer un courant d'hydrogène. L'outremer sera d'autant plus inaltérable, et sa qualité d'autant supérieure, que la couleur bleue sera plus longtemps à disparaître. L'outremer naturel ne perd sa couleur qu'au bout d'une et même deux heures, et quelquefois plus ; l'outremer factice de Nuremberg marque 0 au bout d'un peu plus de demi-heure, et l'outremer le plus commun de Nuremberg marque 5 au bout de quelques minutes.

Digitized by Google

PUBLICATIONS NOUVELLES.

Précis de chimie organique, par M. Ch. Gerhardt, professeur à la Faculté des sciences de Montpellier, tome second et dernier. Prix : 8 francs.

Paris, chez Fortin, Masson et compagnie, éditeurs, place de l'École-de-Médecine, 1 ; et même maison, chez L. Michelsen, à Leipsig.

Ce second volume, qui ne forme pas moins de 600 pages, se fait surtout remarquer par une foule d'aperçus nouveaux qui dénotent dans M. Gerhardt un réformateur aussi hardi que profond. Une dissertation sur la théorie des homologues termine le volume; il sera lu avec grand intérêt par les chimistes.

En attendant que nous puissions rendre compte de l'ouvrage entier de M. Gerhardt, nous signalerons, page 497, ce que dit l'auteur sur la loi des substitutions. « Il n'est pas de chimiste, quelque peu familiarisé avec les métamorphoses organiques, qui mette encore en doute que le chlore et le brome puissent se substituer à l'hydrogène, équivalent par équivalent, de manière à jouer le même rôle. Ce principe, à la démonstration duquel ont contribué tant de travaux remarquables, a enfin été reconnu et adopté par l'École de Giessen. Le dernier travail de M. Hofmann sur les alcaloïdes chlorés et bromés vient dignement se placer à côté des belles recherches de MM. Dumas, Regnault, Malaguti, Cahours, *et couronner ainsi l'œuvre commencée, il y a huit ans déjà, par M. Laurent, et continuée par l'élite des chimistes français.* »

Que va penser M. Dumas de cette justice rendue enfin à M. Laurent?...

ERRATA DU NUMÉRO DE MARS.

M. Mérat n'ayant pas, par oubli, corrigé les épreuves de son article *Revue de botanique*, il s'est glissé quelques fautes que nous allons rectifier ici.

Au lieu de Bourgainville, *lisez* Bougainville ; *au lieu de* Themberg, *lisez* Thunberg ; *au lieu de* Waillieh, *lisez* Wallich.

Digitized by Google

RECHERCHES

SUR L'INFLUENCE QUE CERTAINES ESPÈCES DE COKES EXERCENT SUR LA FONTE DANS LA FABRICATION DU FER.

Par M. H. Gaultier de Claubry.

(*Présenté à l'Académie des sciences en novembre* 1834.)

Le traitement des minerais de fer par le moyen du coke, si répandu depuis assez longtemps en Angleterre, et qui est maintenant suivi en France dans un grand nombre de hauts-fourneaux, exige l'emploi de très bonnes houilles pour procurer des fontes grises très douces : la nature de celles de la plupart des hauts-fourneaux d'Angleterre ne laisse rien à désirer sous ce rapport ; nous sommes loin en France d'avoir obtenu d'aussi bons résultats, et soit que nos houilles se trouvent réellement inférieures en qualités à celles de beaucoup de localités en Angleterre, soit que l'on n'ait pas généralement trouvé ou su distinguer celles qui offrent les caractères désirables, les hauts-fourneaux marchant au coke ne fournissent pas généralement des fontes aussi douces que celles de la plupart des forges d'Angleterre.

L'influence du combustible n'est sans doute pas la seule qui se fasse sentir dans la réduction du minerai de fer; l'allure du fourneau et la nature des produits qu'il fournit éprouvent une foule de variations par une multitude de causes qui sont plus ou moins connues, et que l'on s'applique à contrebalancer par les moyens que l'habitude indique souvent avec assez d'avantage. Mais quand la nature du minerai et du fondant, leurs proportions, la quantité du vent et sa vitesse, restent sensiblement les mêmes et que la nature de la fonte change immédiatement par le seul changement de combustible, on a lieu de penser que c'est à la nature particulière de ce corps qu'il faut attribuer l'effet obtenu.

Au surplus, le charbon de bois, quoique dans un moindre rapport que le coke, exerce aussi une grande influence sur la nature de la fonte, et l'on a bien remarqué depuis longtemps que l'espèce de sol sur lequel a végété le bois d'où il provient agit d'une manière remarquable sur la nature des fontes et des laitiers.

Digitized by Google

En Angleterre, où la houille est généralement de bonne qualité, on n'applique pas indistinctement celle de toutes les couches pour la fabrication du coke destiné au travail du fer : certaines variétés sont toujours employées pour cet usage, d'autres rejetées comme y étant impropres.

Nos bassins houillers, quoique moins étendus et moins riches que ceux d'Angleterre, offrent aussi un grand nombre de couches assez différentes et que l'on destine à divers usages ; plusieurs ont été employées, plus ou moins avantageusement, à la réduction des minerais de fer et ont souvent donné des fontes de très bonne qualité.

Appelé en 1823 par la compagnie des forges de la Loire et de l'Isère, qui exploite de grands établissements dans les départements de l'Ardèche, de la Loire et de l'Isère, pour suivre divers travaux relatifs au traitement du fer, l'une des questions qui me parut la plus importante et à laquelle je consacrai plusieurs mois dans le laboratoire de la forge de Terre-Noire fut celle-ci : A quelle cause doit-on attribuer l'influence que certaines espèces de houille exercent sur la nature des fontes ?

Quoique les travaux auxquels je me suis livré n'aient pas conduit à des résultats aussi positifs que je l'aurais désiré, dans l'intérêt de la compagnie qui m'avait consulté, il m'a semblé que leur publication pouvait avoir quelque intérêt.

J'avais cherché à recueillir, sur la question qui nous occupe, des renseignements exacts sur la cause pour laquelle on rejetait, en Angleterre, certaines espèces de houilles pour la réduction des minerais de fer, et je m'étais assuré, tant par ce que m'avaient dit ceux de nos savants qui ont étudié particulièrement le traitement du fer dans ce pays, que par les renseignements que m'avaient procurés à cet égard Davy, Wollaston, William Henry, et plusieurs autres savants anglais, que l'on s'accordait généralement à considérer le soufre comme la cause du mauvais effet que certains cokes produisent dans le haut-fourneau.

Il devenait donc utile de vérifier si cette opinion était fondée ; et des expériences exactes étaient d'autant plus nécessaires à ce sujet, que je n'en connais aucune qui ait été faite dans ce but.

Je me trouvais placé dans une position avantageuse pour traiter cette question, connaissant par le roulement du haut-fourneau de Vienne la nature des fontes obtenues avec les différentes espèces de cokes ; et comme la fonte avait offert les mêmes caractères à chaque fois que, toutes les autres circonstances étant les mêmes, on venait à se servir d'une espèce donnée de coke, je pouvais pren-

Digitized by Google

dre pour point de départ les houilles ou les cokes qui en provenaient, donnant des fontes grises ou blanches, et parvenir peut-être à reconnaître la cause de leur influence.

Elle était telle, que quand, après un mois de travail par exemple, avec des cokes de Rive-de-Gier, l'allure du fourneau étant constamment bonne, les coulages réguliers, la fonte grise et tenace ou très légèrement truitée-gris, les laitiers chauds et bien coulants, gris et assez légers, on venait à introduire dans les charges des cokes de Saint-Étienne, même en petite quantité, et surtout à mesure que la proportion venait à augmenter, les laitiers changeaient de nature, devenaient pâteux, noirs, spongieux ou très pesants, entièrement opaques; les tuyères étaient souvent obscures; il fallait travailler dans le creuset; la fonte devenait successivement truitée-blanc et ensuite blanche, pour conserver ce mauvais caractère tant que la même espèce de coke était employée, la quantité de vent étant même augmentée et le dosage de la castine modifié.

J'avais commencé une série d'expériences qui auraient pu, je crois, conduire à des résultats importants; des circonstances indépendantes de ma volonté ne m'ont pas permis de les continuer. Le haut-fourneau de Vienne sur lequel je faisais des essais était alimenté avec du minerai de fer hématite de la Voulte, des castines de diverses localités du Bugey et de la Bourgogne, et des cokes de Rive-de-Gier et de Saint-Étienne; une forte machine soufflante permettait de graduer la force et la quantité du vent dans de grandes limites. Mon intention était de faire marcher le haut-fourneau pendant un temps suffisant pour obtenir des résultats constants pendant quelques jours, dans les diverses circonstances suivantes : dosage différent du minerai, de la castine et du coke, dans les limites où l'allure serait bonne; changements dans la quantité et la pression du vent, dans la nature du coke; mélange de différentes variétés de combustible dans différentes proportions; enfin variation dans les mélanges de minerai.

Si je ne me trompe, une suite d'expériences faites en suivant cette marche, notant exactement l'allure du haut-fourneau, la nature des fontes et des laitiers, et toutes les variations qui se seraient présentées, et joignant à cela l'analye des produits, auraient conduit à la solution de plusieurs questions importantes et présenté beaucoup d'intérêt. Je regretterai toujours que des circonstances indépendantes de ma volonté m'aient obligé d'y renoncer, et j'ai pensé devoir signaler ces faits pour attirer l'attention de ceux que des circonstances favorables mettraient dans la position de s'y livrer. On sait combien ont été avantageux les résultats obtenus par l'un de nos

Digitized by Google

maîtres de forge les plus habiles, M. Dufaud, qui est parvenu à modifier ainsi l'alimentation de plusieurs hauts-fourneaux, comme celui de Torteron, dans lesquels le coke a pu être substitué en grande partie au charbon de bois, en conservant à la fonte ses bonnes qualités.

La manière dont le coke est fabriqué paraissant exercer une influence sur la nature des produits, sous le rapport qui nous occupe, j'ai examiné comparativement ce combustible préparé avec diverses houilles et par des moyens différents.

En Angleterre, on préfère pour le haut-fourneau le coke fabriqué en charbonnières, à celui qui est fait en vases clos, et comme on attribue au soufre la mauvaise qualité de la fonte, on pense que dans la calcination en tas, le soufre est mieux chassé; j'ai cherché à déterminer la justesse de cette opinion.

Pour parvenir à dégager la plus grande quantité possible de soufre dans la préparation du coke, j'ai carbonisé de la houille en y faisant passer de la vapeur d'eau : diverses variétés ont dégagé dans ce traitement de très grandes quantités de sulfide hydrique ; mais les cokes qui en sont provenus n'ont pas été de meilleure qualité que ceux que l'on fabriquait par les méthodes ordinaires.

Relativement au soufre renfermé dans les houilles, il est à faire une observation importante, c'est que ce corps peut y exister à deux états différents, et par conséquent être susceptible de se dégager en partie par la carbonisation, ou ne peut se séparer malgré la haute température produite dans l'opération.

Quand il existe dans la houille du polysulfure de fer, la chaleur peut en dégager du soufre, et alors le coke en renferme une moindre quantité que la houille d'où il provient ; mais lorsque des sulfates, celui de chaux plus particulièrement, se rencontrent dans la houille, ils passent à l'état de sulfures, mais la carbonisation n'en dégage point de soufre.

Karsten ne partage pas l'opinion adoptée en Angleterre; d'après lui (1), on remédie à l'influence du soufre sur le fer en élevant la température du haut-fourneau, et il ajoute : « C'est à tort que la carbonisation de la houille a été appelée *désoufrage*, car le dégagement du soufre n'en est qu'une partie accessoire. »

Karsten n'appuyant cette opinion sur aucun résultat d'expérience. la question n'en reste pas moins indécise.

Dans son travail sur l'action de la litharge sur les sulfures métalliques, M. Berthier a fait voir que les alcalis, sous l'influence

(1) Métallurgie du fer, t. I, p. 240, 1re éd.

Digitized by Google

du charbon, décomposent d'assez grandes quantités de sulfures, et que la décomposition n'est limitée que par la formation de silicates, et que l'excès de chaux dans les laitiers favorise la séparation d'une partie du soufre provenant du sulfure; il a trouvé du sulfure de calcium dans divers laitiers de hauts-fourneaux, et j'en avais rencontré plusieurs fois, en 1823, dans plusieurs de ceux du haut-fourneau de Vienne.

Les houilles peuvent se diviser en deux grandes classes, par rapport à l'emploi du coke qu'elles fournissent : les houilles grasses et les houilles sèches. Les premières donnent des cokes boursouflés ; mais celles qui augmentent trop de volume fournissent un coke léger et friable qui est moins avantageux que celui qui est plus compacte ; les houilles sèches se carbonisent sans changer de forme, et donnent des cokes pesants et brûlant mal.

Dans la carbonisation de la houille grasse, les fragments s'agglutinent pour ne former qu'une masse dans laquelle on les distingue encore facilement, ou bien la totalité se fond, se boursoufle, et ne forme plus qu'une masse, comme le charbon provenant de quelques substances végétales, telles que le sucre, la gomme, etc.

Les houilles d'Angleterre sur lesquelles j'ai eu occasion de faire des essais ont présenté le dernier caractère, particulièrement celles de Mertyr-Titwil, quoique plusieurs d'entre elles continssent beaucoup de bitumes et très peu de cendres, comme on le verra dans les tableaux joints à ce mémoire ; toutes celles des bassins de Rive-de-Gier et de Saint-Étienne sur lesquelles j'ai opéré se sont au contraire fondues, quoique la plupart continssent moins de bitume et plus de cendres. Une variété qui renferme 24 p. c. de cendres a même offert ce caractère.

La proportion de coke que fournissent les différentes variétés de houilles varie beaucoup ; elle a été déterminée sur les dix-sept espèces examinées, en distillant des quantités semblables dans des cornues, à une température sensiblement égale. Comme on n'avait pour but que de déterminer exactement la proportion de coke, on a réuni sous le nom de produits volatils, l'huile, l'eau, les gaz, etc., en notant cependant les différences qu'offrait la distillation sous le rapport du produit bitumineux.

On voit par le tableau n° 1 que la quantité de coke fourni par les diverses variétés de houille diffère beaucoup; elle n'est nullement en rapport avec les propriétés observées dans le haut-fourneau.

Les essais ont été recommencés plusieurs fois pour toutes les houilles, et un grand nombre de fois pour quelques unes, et se

Digitized by Google

rapportent au travail en grand pour les houilles de Rive-de Gier et de Saint-Étienne que l'on transformait en coke pour le service du haut-fourneau, quoique la quantité obtenue fût toujours un peu plus faible dans le dernier cas, comme on devait s'y attendre.

Il est sans doute presque impossible que des échantillons représentent exactement la nature d'une couche de houille, particulièrement sous le rapport des substances étrangères qui peuvent y être mélangées; mais lorsque les essais ont été faits sur d'assez grandes quantités d'échantillons pris au hasard, qu'ils ont été répétés un grand nombre de fois, on peut au moins regarder comme une approximation suffisante les résultats obtenus, et c'est sous ce point de vue que je présente les résultats renfermés dans le tableau n° 2.

La quantité de soufre a été déterminée en faisant déflagrer avec soin un mélange de houille ou de coke avec du nitrate de potasse pur et en dosant l'acide sulfurique par la baryte.

Les houilles, comme les charbons de bois, laissent par la combustion des quantités très différentes de cendres, mais en général beaucoup plus que ces derniers. Quand la proportion s'élève à plus de 10 p. c. les cokes deviennent impropres au travail du haut-fourneau, à cause de la difficulté de les fondre; mais, à quantités égales de cendres, deux cokes peuvent avoir des propriétés très différentes, l'un donner de très bonnes, l'autre de très mauvaises fontes.

Le tableau n° 3 offre les quantités de cendres fournies par les cokes et leurs caractères physiques.

Enfin, la nature des cendres pouvant avoir la plus grande influence sur les propriétés des cokes d'où elles proviennent, on les a soumises à l'analyse par les moyens ordinaires; ce sont les résultats de ces analyses que renferme le tableau n° 4.

Il s'agit maintenant de rechercher quelle peut être l'influence des diverses substances renfermées dans les cokes sur le fer, qu'ils servent à préparer.

En examinant les tableaux, nous verrons que la quantité de soufre que contiennent les cokes n'est nullement en rapport avec les propriétés observées dans le haut-fourneau, puisque si les cokes de Saint-Étienne, qui fournissent de la fonte blanche ou au moins truitée-blanc, et dont l'influence se fait sentir même quand on les mélange avec des cokes de Rive-de-Gier, contiennent de 6,46 à 4,64 de soufre, d'autres de la même localité, qui présentent le même caractère, n'en renferment que 2,96, 2,56, tandis que des cokes de Rive-de-Gier, donnant habituellement de la fonte grise en contiennent 4,42, 4,08 et 3,90, et que des cokes d'Angleterre, qui four-

Digitized by Google

nissent de très bonne fonte grise, en renferment 4,22, 3,62, 3,18, 2,78 et 2,06.

D'où il semble impossible de ne pas conclure que, contrairement à une opinion presque généralement reçue, le soufre n'est pas la cause des mauvais effets que produisent certains cokes dans le haut-fourneau.

L'existence du sulfure de calcium dans les laitiers de hauts-fourneaux, la petite quantité de soufre que l'on rencontre dans les fontes fabriquées avec les cokes qui renferment la plus grande proportion de cette substance, sont encore des raisons qui appuient la conclusion précédente et me paraissent la rendre plus évidente.

Relativement aux quantités de cendres, le tableau n° 3 prouve que des cokes de qualités très différentes peuvent en renfermer la même proportion. Les cokes de Dudley et de Mertyr-Titwil, qui fournissent de très bonne fonte, en contiennent 6,32 et 7,13; ceux de Rive-de-Gier, qui donnent aussi des fontes de bonne qualité, 6,2 et 4,7, et ceux de Saint-Étienne, qui ne produisent que des fontes blanches, 8,9, 5,9 et 4,64.

Il nous reste à comparer la nature des cendres pour tâcher de nous rendre compte de l'effet qu'elles pourront produire dans le haut-fourneau.

Nous voyons dans le tableau n° 4 que leur nature n'est pas essentiellement différente, et que les proportions, bien plus que les substances qui les composent, nous offrent des différences bien sensibles. Une seule chose paraît assez singulière, c'est la proportion de magnésie que renferment certains cokes, d'autant plus que ce ne sont pas toujours ceux qui fournissent des fontes blanches, comme on pourrait le supposer d'après la plus grande infusibilité des silicates de cette base.

Si les quantités de cendres que donnent les cokes fournissant des fontes grises avaient toujours été moindres que celles des cokes donnant des fontes blanches, que ces cendres eussent été plus fusibles, on aurait pu expliquer l'action des cokes qui donnent des cendres plus infusibles et en plus grande quantité par la difficulté de fondre la très grande proportion de ces substances; mais les détails que nous avons donnés plus haut et la vue des tableaux annexés à ce mémoire ne conduisent pas à cette conséquence.

Une observation que je n'ai eu occasion de faire qu'une seule fois conduira peut-être à trouver la cause d'une partie des phénomènes qui nous occupent. Voulant par quelques expériences déterminer la température de la chemise du haut-fourneau, j'avais fait disposer un pyromètre métallique que je faisais pénétrer par l'un des évents

Digitized by Google

du revêtement extérieur du fourneau; lorsque je pénétrai dans la couche de poussier de coke dont l'intervalle des deux enveloppes se trouvait rempli, je fus frappé de l'odeur d'ail qui se dégageait. Je réitérai l'essai sur des points assez rapprochés, qui me donnèrent le même caractère : cette odeur était celle de l'arsenic; il se dégageait quelques vapeurs blanches dont une minime partie s'était condensée sur les parois des évents; je les recueillis avec soin, espérant y découvrir des traces d'arsenic; la matière blanche floconneuse contenait beaucoup de sel ammoniac. Je tentai inutilement aussi de retrouver la même odeur dans quelques autres points de l'enveloppe du fourneau.

Je m'enquis avec soin de la nature du coke qui avait été employé pour remplir l'intervalle des enveloppes, et quoique je n'aie pu avoir à cet égard des renseignements très positifs, je puis être certain que du coke fabriqué avec du charbon de Saint-Étienne y avait été employé, mêlé peut-être avec d'autres de différentes localités, et il était d'autant plus probable que du charbon de Saint-Étienne avait servi à cet usage, que la Compagnie, ayant des concessions assez étendues à Saint-Étienne, devait employer à tous les usages auxquels ils pouvaient servir les produits qu'elle en retirait.

Je m'occupai alors de rechercher l'arsenic dans les houilles et les cokes qui présentaient le plus mauvais caractère dans le haut-fourneau; mais une fois seulement j'ai obtenu d'un coke de l'exploitation appelée la *Grande-Fendue*, des indices de sa présence.

J'ai vainement aussi recherché l'arsenic dans plusieurs des fontes obtenues avec les cokes de Saint-Étienne, et dont la préparation avait été accompagnée des phénomènes que j'ai signalés précédemment.

Quoi qu'il en soit, il me semble que cette indication peut devenir utile, et des personnes placées dans la position de vérifier si l'arsenic existerait réellement dans certaines houilles, pourront y trouver l'occasion de recherches qui ne seraient pas sans intérêt.

J'avais entrepris, pour rendre mon travail complet sur la question que je m'étais proposé d'examiner, d'analyser les fontes et les laitiers provenant du haut-fourneau, et obtenus avec des cokes de Saint-Étienne et de Rive-de-Gier, les laitiers des fineries et du pudlage et les fers obtenus avec ces fontes; la perte d'une caisse d'échantillons ne m'a pas permis de l'achever, et n'ayant aucune espérance de pouvoir reprendre ce travail, j'ai cru que tel qu'il se trouvait il n'était pas entièrement dénué d'intérêt, et que s'il ne prouvait pas à quelle cause on pouvait attribuer l'action de certaines

Digitized by Google

espèces de coke pour produire de mauvaises fontes, il prouvait au moins que celle qu'on avait assignée n'est point admissible.

En réfléchissant à toutes les conditions que présentaient les cokes employés dans le haut-fourneau, il me vint à l'esprit qu'une cause jusque là inaperçue pourrait avoir produit les effets observés.

On sait que toutes les houilles donnent des sels ammoniacaux en plus ou moins grande quantité, et que celles du bassin de Saint-Étienne et de Firminy présentent ce caractère à un très haut degré, et à tel point même qu'il y a une douzaine d'années une houillère enflammée a laissé sublimer pendant longtemps des masses considérables de sel ammoniac, dont quelques échantillons étaient remarquables par leur belle cristallisation.

On connait, d'une autre part, les résultats observés par Amédée Berthollet et M. Thénard sur l'action que le gaz ammoniac exerce sur quelques métaux, et particulièrement sur le fer, et dont M. Despretz a bien étudié la nature (1); il résulte des recherches de ce dernier chimiste que le fer se transforme dans cette circonstance en un azoture dont la production explique bien les différences remarquables de propriétés que présente ce métal, après l'action du gaz sur lui.

L'ammoniaque serait-elle dans ce cas l'agent qui procurerait à la fonte des qualités particulières, et qu'une fusion nouvelle ne saurait faire disparaître? Ne pouvant déterminer exactement la présence de l'azote dans la fonte par le manque d'appareils convenables, il me fut impossible alors d'opérer sur les fontes reconnues comme de plus mauvaise qualité, et je fus obligé depuis de me borner à des recherches directes sur diverses fontes en les soumettant à une haute température à l'action du gaz ammoniac. En les continuant pendant longtemps sur des échantillons de fontes douces d'Angleterre ou de France, je trouvai que, comme le fer, elles décomposaient le gaz ammoniac en ses éléments; que leur grain et leur ténacité éprouvaient des changements très notables, et que, dissoutes dans les acides, elles dégageaient un mélange d'hydrogène avec un peu d'azote.

Les tuyaux ou les vases en fonte qui servent à la distillation des os pour la fabrication des sels ammoniacaux ou du noir animal deviennent, après quelque temps, excessivement friables, et la fonte acquiert de si mauvaises qualités, qu'elle devient impropre à presque tout usage, et qu'à peine peut-on, en la mêlant avec

(1) Ann. de chim. et de phys., t. LXII, p. 122.

Digitized by Google

d'autres fontes de bocage, en tirer aucun parti pour la fabrication du fer.

Dans quelques usines, on a employé des cylindres en tôle de fer pour la fabrication du noir animal; ce métal devient encore plus facilement et plus rapidement friable que la fonte.

J'ai pensé que l'altération du fer et de la fonte devait être de même nature que celle que j'ai précédemment signalée, et pour en acquérir la preuve, j'ai dissous de la fonte provenant de cylindres ayant servi à la fabrication du sel ammoniac avec les précautions qui me garantissaient de la présence de quelque petite quantité d'azote que ce pût être; pour cela, j'ai placé des fragments de fonte dans un matras qui a été rempli d'eau, ainsi que le tube servant au dégagement du gaz; un tube droit était destiné à l'introduction de l'acide; l'eau a été portée à l'ébullition pour en chasser tout l'air, et le tube plongé dans de l'eau bouillie, de sorte qu'en se refroidissant l'appareil s'est trouvé rempli d'eau entièrement privée d'air; on a alors versé dans le matras du chloride hydrique, et le gaz a été recueilli sur le mercure, en ayant soin de perdre encore les premières éprouvettes.

L'oxigène employé pour l'analyse a été obtenu du chlorate potassique, et pour être parfaitement certain de l'absence d'air atmosphérique, la cornue d'où il se dégageait a été fixée à la petite pompe pour l'analyse des substances organiques et le vide fait à plusieurs reprises; les premières cloches de gaz ont encore été rejetées.

Le résultat moyen de deux analyses qui ne différaient pas de 0,05 p. c. a donné 2,88 p. c. d'azote de la quantité de gaz hydrogène; il résulte des expériences de M. Despretz que du fer pur soumis à refus à l'action du gaz ammoniac, a donné du gaz hydrogène renfermant jusqu'à 6 p. c. d'azote, et que le produit le plus azoté obtenu serait un sous-azoture.

La proportion de gaz azote obtenu avec la fonte essayée rapproche singulièrement le composé fourni par l'action des sels ammoniacaux sur la fonte de celui que produit le fer par l'action directe du sel ammoniac; et comme l'azoture de fer est au moins très difficile à décomposer par la seule action de la chaleur, sa formation expliquerait les caractères qu'offre la fonte obtenue avec des cokes qui fournissent beaucoup de produits ammoniacaux.

Des expériences sont nécessaires pour donner à cette manière de voir une certitude entière; je crois que le sujet mérite d'être examiné par ceux que leur position met à même de s'en occuper, et si elle se réalise, elle pourra devenir un guide utile dans des opérations métal-

Digitized by Google

lurgiques d'une grande importance, et généraliser une action qui était bornée jusqu'à ces recherches à des opérations de laboratoire.

N° 1.

QUANTITÉS DE COKE ET DE PRODUITS VOLATILS POUR 100 DE HOUILLE

D'Angleterre.

Houilles.	Coke.	Prod. vol.	Observations.
Iron-Bridge,	54,60	45,40	Coke compacte, légèrem. boursouflé, conservant sa forme, friable.
Dudley,	57,60	42,50	Id.
Mertyr-Titwill,	86,30	13,70	Coke comp., peu friable, boursouflé, conservant sa forme.
Cool-Broke-Dale,	53,68	46,82	Id.
Pauat,	52,80	48,20	Id.

De Saint-Étienne.

Puits Saint-Henry,	77,90	22,10	Coke très boursouflé, friable, n'ayant conservé aucune forme.
— Robert, couche Carrodé,	72,95	27,50	Id.
— — couche des Planches,	74,90	25,10	Id.
— — couche du Bon-menu,	69,70	30,30	Id.
— — couche du dessus,	73,20	26,70	Id.
— de la Grande-Fendue,	66,40	33,60	Id.
— de la Petite-Fendue,	78,20	21,80	Id.

De Rive-de-Gier.

Puits Saint-Mathieu,	72,70	27,00	Id.
— de la Grande-Croix,	71,70	28,70	Id.
— du Coin,	68,50	31,50	Id.
— de la Monge,	83,20	16,80	Id.
— des Combes,	70,10	29,90	Id.

N° 2.

PROPORTIONS DE SOUFRE POUR 100 PARTIES.

D'Angleterre.

Localités.	Houille.	Coke.	Observations.
Iron-Bridge,	4,98	3,62	
Dudley,	6,10	2,06	

Digitized by Google

Localités.	Houille.	Coke.	Observations.
Mertyr-Titwill,	5,86	2,78	
Écosse,		4,22	
New-Castle-upon-Tyne,		3,16	
Monmouth,		2,04	
Cool-Brooke-Dale,	4,02		
Id.	5,28		

De Saint-Étienne.

Puits Saint-Henry,	5,20	3,20	
— du Fils,	3,90	2,65	
— Robert, Bon-menu,	5,64	6,46	
-- des Planches,	6,98	2,56	
— Carrode,	4,40	2,96	
— Grande-Fendue,	5,04	4,64	
— Petite-Fendue,	6,50		Le coke, ne pouvant servir au haut-fourneau, n'a pas été essayé.

De Rive-de-Gier.

Puits de la Grande-Croix,	3,56	4,42	
— des Combes,	4,16	4,08	
— Saint-Mathieu,	5,00	3,90	
— du Coin,	7,00		Ces cokes n'ayant pas été employés au h.-fourn., n'ont pas été essayés.
— de la Monge,	5,02		

N° 3.

PROPORTIONS DES CENDRES PAR 100 PARTIES DE COKES.

D'Angleterre.

		Observations.
Iron-Bridge,	1,30	Cendre blanche légère.
Dudley,	6,32	Cendre rouge un peu jaunâtre.
Mertyr-Titwill,	7,13	Cendre légère rougeâtre.
Écosse,	6,78	Id.
Cool-Brooke-Dale,	7,10	Cendre grise.
Puant,	7,70	Cendre un peu rougeâtre.

De Saint-Étienne.

Puits Saint-Henry,	22,85	Cendre grise.
— du Fils,	23,90	Id.

Digitized by Google

Coke.		Observations.
Puits Robert, Bon-menu,	4,64	Cendre grise.
— des Planches,	11,30	Cendre un peu rougeâtre.
— Carrode,	5,90	Id.
— de la Grande-Fendue,	8,90	Id.
— de la Petite-Fendue,	39,80	Id.

De Rive-de-Gier.

Puits de la Grande-Croix,	4,70	Cendre grise un peu rougeâtre.
— Saint-Mathieu,	6,20	Id.
— des Combes,	6,20	Cendre grise moins foncée.
— de la Monge,	4,64	Cendre grise.

N° 4.

PROPORTIONS DES CENDRES SUR 100 PARTIES.

Angleterre

Composants.	Iron-Bridge.	Dudley.	Mertyr-Titwill.
Sulfure calcique,	12,55	8,64	4,56
Silice,	42,10	35,40	41,60
Alumine,	34,40	30,40	35,44
Carbonate calcique,	4,80	6,48	4,46
Carbonate magnésique,	0,40	»	1,08
Oxide ferrique,	5,28	18,68	10,80
Oxide manganique,	Trace.	Trace.	Trace.
Total	99,48	99,10	99,94

Saint-Étienne.

Composants.	St-Henry.	Le Fils.	Carrode.	Bon-Menu.	Dessus.	Planches.	Grande-Fendue.
Sulfure calcique,	2,40	2,40	4,90	5,60	2,20	3,60	3,50
Silice,	73,20	54,90	56,50	44,50	50,00	43,50	58,20
Alumine,	14,40	37,00	23,00	34,34	32,00	26,20	34,00
Carbon. calciq.,	0,80	3,20	0,40	7,00	1,40	6,20	0,30
Carb. magnésiq.,	0,70	»	0,76	0,50	0,70	0,50	0,30
Oxide ferrique,	7,98	1,30	14,38	7,18	13,28	9,42	3,32
Oxide manganiq.,	Trace.	Trace.	Trace.	Trace.	Trace.	Trace.	Trace.
	99,48	99,80	99,94	99,12	99,58	99,42	99,62

Digitized by Google

Rive-de-Gier.

Composants.	Grande-Croix.	Combes.	Saint-Mathieu.
Sulfure calcique,	3,20	8,70	4,90
Silice,	55,00	36,30	55,00
Alumine,	19,80	11,00	22,24
Carbonate calcique,	8,80	24,20	5,50
Carbonate magnésique,	»	»	8,80
Oxide ferrique,	13,00	19,06	3,32
Oxide manganique,	Trace.	Trace.	Trace.
Total	99,80	99,26	99,76

Digitized by Google

NOTE

SUR LA FABRICATION DE L'ARGENTAN A SHEFFIELD,

Par M. Jahkel.

L'argentan de bonne qualité est plus ductile et plus dur que le laiton, ce qui le rend un alliage précieux pour la fabrication de nombre d'objets. La première condition à remplir pour obtenir un bon argentan est d'employer, pour la composition de l'alliage, des métaux parfaitement purs : cependant le cuivre peut renfermer de l'argent, et le nickel une petite quantité de cobalt, sans qu'il en résulte aucun inconvénient. On choisit du cuivre pur laminé; le cuivre de Russie est de beaucoup le meilleur; celui d'Angleterre contient toujours un peu d'arsenic, et celui d'Allemagne un peu de fer et de plomb. Le zinc du commerce est ordinairement assez pur. Le nickel est employé à l'état de poudre ou d'éponge; les culots fondent trop difficilement. L'essai du nickel est d'autant plus nécessaire qu'il est presque impossible d'apprécier sa qualité à simple vue. Cet essai se fait en formant un alliage de 8 p. de cuivre de première qualité, 3 et demi de zinc et 4 p. du nickel à essayer, en prenant bien soin de ne pas oxider une partie des métaux, et de perdre le moins possible de zinc; puis, coulant cet alliage dans une lingotière en fonte de 8 à 10 centimètres de longueur, 5 centimètres de largeur et 3 millimètres de profondeur, préalablement recouverte à l'intérieur d'une couche de fumée, au moyen d'une lampe. On place ensuite le lingot entre les mâchoires d'un étau, et on le courbe à coups de marteau. Si le cuivre employé est du cuivre de Russie, et le nickel de bonne qualité; si, en outre, la fonte a bien réussi, le lingot se laissera courber dans deux directions opposées sans se rompre. Si cela n'a pas lieu, on examinera sur la cassure si le grain et la texture du métal sont bien uniformes; on refondra le lingot, et s'il se brise encore à peu près sous le même angle de courbure, cet angle servira à apprécier la nature du nickel employé; ce dernier sera de mauvaise qualité, si le lingot se brise avant d'avoir pu être courbé à angle droit. La teinte du lingot ne peut servir à porter un jugement qu'autant qu'on la compare avec

Digitized by Google

celles d'autres lingots formés des mêmes proportions et avec un nickel reconnu de bonne qualité.

Le second point est la relation à établir entre les divers éléments de l'alliage ; le rapport du cuivre au zinc doit être : : 8 : 3 ; mais, à cause de la perte par volatilisation qu'éprouve toujours le zinc, on en met 3 parties et demie. La quantité de nickel peut varier de un quart à trois quarts de celle de cuivre ; si on en met moins, l'alliage reste jaune clair ; si on en met davantage, il devient trop dur, et sa ductilité diminue. Voici les proportions usitées en Angleterre :

N° 1. *Argentan ordinaire.* — Cuivre, 8 parties ; nickel, 2 p. ; zinc, 3 p. 1/2. — Cette composition donne l'argentan de qualité inférieure, qui a souvent une teinte jaunâtre ; on l'emploie pour la fabrication des fils et autres articles communs. Si l'on diminue encore la proportion de nickel, l'alliage obtenu ne vaut guère mieux que du laiton peu coloré, et se ternit aisément à l'air.

N° 2. *Argentan blanc.* — Cuivre, 8 parties ; nickel, 3 p. ; zinc, 3 p. 1/2. — Cette belle composition imite l'argent à 750 millièmes, et est très employée.

N° 3. *Electrum.* — Cuivre, 8 parties ; nickel, 4 p. ; zinc, 3 p. 1/2. — Cette composition mérite la préférence sur toutes les autres ; elle a la teinte bleuâtre de l'argent bruni, et se ternit beaucoup moins à l'air.

N° 4. — Cuivre, 8 parties ; nickel, 6 p. ; zinc, 3 p. 1/2. — C'est la composition la plus riche en nickel qui puisse être travaillée à froid. Elle ne laisse rien à désirer sous le rapport de la beauté et de l'éclat ; mais elle est difficile à fondre, et présente quelques difficultés dans son élaboration.

N° 5. *Tutenag.* — Cuivre, 8 parties ; nickel, 3 p. ; zinc, 5 p. 1/2. — C'est à très peu près la composition d'une qualité ordinaire de packfong que l'on tirait autrefois de la Chine. Cet alliage est très dur et assez difficile à laminer ; il convient surtout pour la fabrication des objets moulés.

N° 6. *Soudure pour l'argentan.* — Argentan n° 1, 5 parties ; zinc, 4 p. — On coule cet alliage en plaques minces que l'on pulvérise ensuite ; il est difficile à réduire en poudre, et ses fragments offrent une texture mate et quelque peu fibreuse. Lorsqu'ils sont

Digitized by Google

aigres et brillants, c'est le signe d'une teneur en zinc trop considérable; on y remédie en tenant l'alliage en fusion pendant un temps plus considérable, ou en y ajoutant une petite quantité d'argentan. Est-il au contraire trop ductile pour se laisser pulvériser, on y ajoute un peu de zinc.

On opère la fusion de l'alliage qui constitue l'argentan, ainsi qu'il suit : on fond d'abord le zinc avec la moitié de son poids de cuivre, et on coule l'alliage obtenu en plaquettes minces, que l'on puisse aisément briser. D'un autre côté, on met dans un autre creuset le reste du cuivre brisé en petits fragments avec tout le nickel; on recouvre le mélange avec de la houille pilée et un peu de suif, et après avoir fermé le creuset avec un couvercle, on le porte au feu. Aussitôt que le mélange commence à fondre, on l'agite avec une tige en fer bien propre, que l'on a soin de retirer avant qu'elle atteigne le rouge blanc, et de laisser alors refroidir avant de s'en servir de nouveau, sans quoi il se dissoudrait infailliblement dans l'alliage une certaine quantité de fer qui en altérerait la pureté. Lorsque la fusion paraît complète, on enlève avec une cuillère une faible portion du poussier de houille, en partie scorifié, qui recouvre le bain métallique, et on examine si elle ne contient aucune grenaille de nickel; si cela avait lieu, il faudrait maintenir la masse en fusion, en l'agitant fréquemment, jusqu'à ce que tout le nickel se fût incorporé dans l'alliage. On ajoute ensuite, par petites portions, l'alliage de zinc et de cuivre dont nous avons déjà parlé, en ayant soin de bien agiter la masse à chaque fois, afin d'obtenir un mélange bien homogène. Il va sans dire qu'il faut maintenir, pendant toute la durée de l'opération, le bain métallique recouvert de poussier de houille, afin d'en prévenir l'oxidation.

On suit également à Sheffield, pour préparer l'argentan, le procédé suivant, qui exige moins de main-d'œuvre et une moindre dépense en combustible : on introduit dans un creuset un mélange de 7 livres et demie en petits fragments, une demi-livre de zinc et tout le nickel; on recouvre ce mélange avec du poussier de houille et un peu de suif, puis on le fond dans le creuset préalablement recouvert de son couvercle, avec les précautions indiquées plus haut. Aussitôt que la fusion est complète, on y introduit d'abord un alliage composé de une livre de zinc et une demi-livre de cuivre, en agitant bien le mélange après chaque addition. Dans une opération bien conduite, la perte en poids ne s'élève qu'à 8 ou 10 onces, ou 4 p. c. environ.

L'argentan laminé que l'on trouve dans le commerce est rarement sans défauts. On y remarque généralement une foule de petites

Digitized by Google

taches plus foncées, souvent des stries qui se prolongent dans l'intérieur de la masse. Pour obtenir un métal sans défaut, ce qui est très difficile, on coule d'abord l'argentan destiné à être laminé en barres, que l'on décape avec soin et que l'on refond une seconde fois pour les couler en plaques. Lorsque, pendant la fusion, l'alliage s'oxide en partie, il offre ensuite une cassure caverneuse et bulbeuse lorsqu'il a été coulé en plaques, et celles-ci, après qu'elles ont été laminées, se recouvrent d'ampoules et de stries par le moindre réchauffage. Ces défauts sont aussi quelquefois dus à un refroidissement irrégulier de la masse métallique dans le moule, surtout si ce dernier renferme encore quelques traces d'humidité.

On reconnaît que l'alliage fondu est complétement exempt d'oxide, en prenant avant la coulée deux essais que l'on coule en plaques de 5 centimètres de long, 2 centimètres et demi de large, et 6 à 8 millimètres d'épaisseur, et que l'on brise ensuite, afin de juger par leur cassure de la pureté de l'alliage. Il convient d'employer un moule en fonte et l'autre en pierre (quartzite ou porphyre); ce dernier doit avoir été préalablement chauffé très graduellement jusqu'au rouge pour en chasser toute l'humidité; après son refroidissement, on l'enduit d'une bouillie claire formée avec un mélange de noir de fumée et l'huile de térébenthine, puis on le chauffe de nouveau à une douce chaleur, afin de chasser toutes les parties volatiles. Le moule en fonte est enfumé sur une lampe ou recouvert de l'enduit ci-dessus, et complétement desséché. On puise l'essai au moyen de petits creusets réfractaires préalablement chauffés au rouge vif, que l'on plonge jusqu'au fond du grand creuset, et que l'on vide ensuite aussi rapidement que possible dans les moules.

Tant que le métal renferme encore beaucoup de parties oxidées, il paraît criblé de bulles à l'intérieur, quel que soit le moule dans lequel on l'ait coulé; lorsqu'il n'en renferme plus qu'une faible quantité, l'essai coulé dans le moule en pierre paraît exempt de bulles; on achève, dans ce dernier cas, de le purifier par le procédé suivant :

On remplit un tube en terre, ouvert par un bout, de 25 centimètres de long et de 8 à 12 millimètres de diamètre, avec un mélange de une partie de poix et de 8 p. de suie, et que l'on y tasse fortement; on renverse ensuite ce tube dans le bain métallique, de telle sorte que son extrémité ouverte arrive au fond du creuset, et on le maintient dans cette position jusqu'à ce qu'il ne se dégage plus du tout de bulles gazeuses du bain métallique; pendant cette opération, on recouvre le creuset avec un couvercle particulier, qui est percé à son centre d'une ouverture qui sert à laisser passer le tube.

Digitized by Google

On retire ensuite le creuset du feu ; on y ajoute une nouvelle quantité de poussier de houille, et on agite le tout avec une tige en fer, jusqu'à ce que la masse se solidifie, puis on reporte le creuset au feu pour opérer la fusion. On répète cette opération à plusieurs reprises, jusqu'à ce que tout l'oxide soit réduit, et que l'alliage métallique soit devenu parfaitement pur et homogène. On s'en assure par deux essais faits comme il est dit plus haut. L'alliage est convenablement pur, si la cassure des deux lingots offre un grain bien égal et serré. Si les deux essais sont bulleux, l'alliage est en partie oxidé ou brûlé. Si ces bulles ne se trouvent que dans le lingot coulé dans le moule à pierre, et qu'elles n'existent pas dans le lingot coulé dans le moule en fonte, l'alliage est encore oxidé, mais moins que dans le cas précédent. Si, au contraire, le lingot coulé dans le moule en fonte présente une texture bulleuse, c'est une preuve que la réduction a été poussée trop loin. Dans ce cas, l'alliage n'est pas seulement réduit, mais il s'est en partie carburé, et il faut alors le maintenir un certain temps fondu à une température plus élevée, après avoir enlevé la couverte de poussier de houille qui le recouvrait, afin de brûler l'excès de carbone qu'il renferme. Lorsqu'on emploie du cuivre de Russie pour former l'alliage, ce dernier n'est pas susceptible de se carburer.

On ne doit couler l'alliage, ramené à un degré de pureté convenable, que dans des moules en fonte ; ceux en pierre ou en sable se refroidissent trop lentement, de sorte que la plus grande partie du lingot acquiert une texture fortement cristalline qui détermine la formation d'une foule de fissures très fines ou stries. On doit apporter le plus grand soin à la coulée, et chercher à rendre le plus uniforme possible le refroidissement de toutes les parties de l'alliage. A cet effet, il faut éviter que le métal liquide, lorsqu'on le verse, ne vienne en contact avec les parois latérales du moule, ou ne rejaillisse, étant versé de trop haut, après en avoir atteint le fond. Dans le premier cas, il se forme des couches qui, éprouvant un refroidissement plus ou moins rapide, se solidifient à des époques différentes en donnant lieu soit à des bulles, soit à des fissures, qui sont quelquefois tellement fines, qu'elles ne sont point perceptibles à première vue, et que ce n'est que plus tard après le laminage qu'on découvre leur présence ; dans le second cas, il se forme une foule de petits globules qui ne peuvent jamais se résoudre complétement avec la masse principale, et qui, surtout quand ils se trouvent près de la face supérieure du lingot, se détachent pendant l'opération du laminage, en laissant à leur place autant de cavités ovales et allongées.

Digitized by Google

On coule l'alliage aussi chaud que possible, en siphon, dans un moule horizontal en fonte fermé, et composé de deux plaques polies en fonte de $0^m,23$ de long, $0^m,15$ de large et $0^m,025$ d'épaisseur, réunies par des cornières en fer, assujetties à l'aide de boulons; on verse le métal par une trémie latérale en pierre qui communique avec le moule, suivant toute sa longueur, et dans laquelle on laisse toujours un excédant de métal, afin de former une masselotte.

Avant la coulée, on recouvre les parois du moule d'une couche de noir de fumée, et on enduit celles de la trémie en pierre d'un mélange de noir de fumée et d'essence de térébenthine, comme nous l'avons dit en parlant des essais. On porte ensuite le tout à un degré de chaleur tel, qu'on ait de la peine à le saisir avec la main. Après deux ou trois fontes, il faut renouveler entièrement l'enduit ci-dessus.

On donne ordinairement aux lingots destinés au laminage une épaisseur de 1 à 1 millimètre et demi; il serait difficile de couler des plaques plus minces sans défaut, et une épaisseur plus considérable les rendrait très difficiles à laminer.

Lorsque le refroidissement est complet, on détache le lingot du moule à l'aide de quelques coups de marteau; on l'égalise sur ses faces en employant au besoin la lime, puis on le lamine absolument de la même manière que le laiton.

Pour obtenir du fil d'argentan ductile et de bonne qualité, on emploie exactement le même procédé. Avec l'alliage n° 2, on peut fabriquer ainsi à coup sûr un fil tout-à-fait exempt de défauts, ce qui mérite d'autant plus d'être pris en considération que la plupart des procédés actuellement suivis ne peuvent donner que des produits de qualité très moyenne.

Digitized by Google

REVUE

DES JOURNAUX FRANÇAIS ET ÉTRANGERS,

PAR E. KOPP.

CHIMIE INORGANIQUE ET MINÉRALOGIE.

Sur les équivalents de plusieurs corps simples, par J. Pelouze.

(Comptes-rendus de l'Acad. des sciences, 1845, numéro 15.)

M. Pelouze, en employant la méthode de M. Gay-Lussac pour les essais par voie humide des alliages d'argent, a cherché à déterminer l'équivalent des corps simples formant des chlorures stables et bien définis.

En notant avec la plus grande exactitude la quantité de nitrate d'argent ou d'argent nécessaire pour précipiter complétement un poids donné de chlorure, et en supposant l'équivalent de l'argent = 1349,01, et celui du chlore = 443,20, déterminés d'une manière rigoureuse, on en conclut facilement l'équivalent du chlore, et par conséquent du métal employé dans l'expérience.

Les nombres obtenus par M. Pelouze sont les suivants :

Sodium,	287,17
Potassium,	489,30
Azote,	175,08
Baryum,	858,01
Strontium,	548,02
Silicium,	88,94 (92,43 Berzélius.)
Phosphore,	400,30 (392,30 Berzélius.)
Arsenic,	937,50

Digitized by Google

Sur un sulfo-arséniure de plomb cristallisé du Saint-Gothard, par Damour.

(Comptes-rendus de l'Acad. des sciences, 1845, numéro 15.)

Ce minéral se rencontre sur la dolomie en cristaux trapézoèdres très nets ; il est associé avec le réalgar et le cuivre gris, avec lequel on l'a constamment confondu ; il s'en distingue par un éclat résineux très vif, et par sa poussière, qui est rougeâtre. Il est très fragile et se réduit facilement en poudre. Sa densité égale 5,549.

Sa formule

$$=2(PbS)+As^2S^3,$$

qui correspond à la composition :

S	= 22,18
As	= 20,73
Pb	= 57,09
	100,00

Sur la détermination de la densité des gaz, par V. Regnault.

(Comptes-rendus de l'Acad. des sciences, 1845, numéro 14.)

M. Regnault, pour se mettre à l'abri des nombreuses causes d'erreur qui se présentent dans les corrections nécessaires à la détermination des densités des gaz, s'est servi d'un procédé très ingénieux, qui consiste à équilibrer le ballon renfermant les gaz par un autre ballon du même verre, et ayant exactement la même capacité. Cette disposition rend les observations indépendantes des variations barométriques, hygrométriques et thermométriques de l'atmosphère, ainsi que des qualités hygroscopiques des ballons en verre.

Voici en résumé les résultats obtenus par cet habile physicien.

Le coefficient de dilatation de l'air = 0,003663 — 0,003667.

Soumis à des pressions différentes, l'air suit exactement la loi de Mariotte.

La densité de l'azote	= 0,97137	à 0° et 760^{mm}	de pression.
— de l'oxigène	= 1,10563	—	
— de l'hydrogène	= 0,06926	—	
— de l'ac. carb.	= 1,5291	—	

Digitized by Google

Le coefficient de dilatation du gaz carbonique = 0,003719.

Sous des pressions plus faibles que celle de l'atmosphère, l'acide carbonique suit la loi de Mariotte lorsqu'il est chauffé à 100°, mais il s'en écarte sensiblement lorsque sa température = 0°.

La densité de CO^2 à 0° est :

Sous la pression de	760mm,00	=	1,5291
	374 ,13	=	1,52366
	224 ,17	=	1,52145

Pour la densité du même gaz à 100°, on a :

Sous la pression de	760mm,00	=	1,52418
	338 ,39	=	1,52410

La densité du gaz carbonique, calculée d'après le poids atomique 75, est 1,52024.

Au contraire, la densité trouvée par expérience à 0° et à 760mm de pression, conduit à un poids atomique de carbone = 76,44, qui a été longtemps celui adopté d'après Berzélius.

Sur les sels haloïdes doubles, par Poggiale.

(Comptes - rendus de l'Institut, 1845, numéro 16.)

Chlorure antimonique et chlorure ammonique.

En mélangeant des solutions concentrées de ces deux sels, et évaporant, on obtient d'abord des prismes rectangulaires qui sont :

$$Sb^2Cl^6+3(Cl^2H^8N^2)+3H^2O,$$

puis des hexaèdres, ou des pyramides hexaèdres, qui ont pour formule :

$$Sb^2Cl^6+2(Cl^2H^8N^2)+2H^2O.$$

Ces deux sels, ainsi que les suivants, sont décomposés par l'eau.

Chlorure double d'antimoine et de potassium.

Cristaux feuilletés,	$Sb^2Cl^6+3(Cl^2K)$
Cristaux hexaèdres,	$Sb^2Cl^6+2(Cl^2K)$

Digitized by Google

Chlorure double d'antimoine et de sodium.

Lames feuilletées, $Sb^2Cl^6+3(Cl^2Na)$

Chlorure double d'antimoine et de baryum.

$Sb^2C.^6+2(Cl^2Ba)+5H^2O.$

On obtient également des chlorures doubles d'antimoine avec strontium, magnésium et calcium.

Chlorure stanneux et chloruré ammonique.

Belles aiguilles inaltérables à l'air et décomposables par l'eau.

$Cl^2Sn+2(Cl^2H^8N^2)+3H^2O.$

Chlorure stanneux et chlorure potassique.

Semblable au précédent.

$Cl^2Sn+2(Cl^2K)+3$ aq.

Le sel double de baryum cristallise en prismes, celui de strontium en aiguilles :

$Cl^2Sn+Cl^2Ba+4H^2O$
$Cl^2Sn+Cl^2Sr+4H^2O.$

Chlorure double de magnésium et de sodium.

$2Cl^2Mg+Cl^2Na+2HO.$

Iodures doubles.

L'iodure ammonique dissout l'iodure argentique et forme un sel double incolore décomposable par l'eau :

$I^2Ag+2(I^2H^8N^2).$

L'iodure de plomb se combine à l'iodure sodique et forme des paillettes jaunes brillantes :

$2(I^2Pb)+I^2Na.$

L'iodure de zinc forme avec l'iodure potassique des cristaux prismatiques, radiés, très déliquescents :

$I^2Zn+I^2K.$

Digitized by Google

Chloro-iodure de plomb.

Ce sel double se prépare en dissolvant l'iodure de plomb dans le chlorure ammonique; par le refroidissement, il se dépose des aiguilles jaunâtres :

$$I^2Pb + 2Cl^2Pb.$$

En évaporant les eaux-mères, on obtient des aiguilles rameuses extrêmement fines, qui partent d'un centre commun et constituent de belles houppes soyeuses et ayant pour formule :

$$I^2Pb + 2(Cl^2H^8N^2) + 2H^2O.$$

Chlorure et acétate de plomb.

$$[Cl^2Pb + 5A, PbO + 15H^2O].$$

Ce sel, obtenu en traitant le chlorure plombique par l'acétate, se dépose en cristaux incolores, nacrés et brillants, formés d'aiguilles fines et soyeuses partant d'un centre commun.

Il fond à 82° et bout à 109° en perdant son eau.

Iodure et carbonate de plomb.

$$(I^2Pb + CO^2, PbO).$$

Il constitue le résidu qu'on obtient en faisant bouillir du carbonate de plomb avec un excès d'iodure plombique. Il est jaune et insoluble dans l'eau.

Sur le sesquichlorure de chrome, par Péligot.

(Comptes - rendus de l'Institut, 1845, numéro 16.)

M. Péligot a observé que le sesquichlorure de chrome anhydre ou hydraté ne laisse pas précipiter la totalité de son chlore, quand on traite sa dissolution froide par le nitrate d'argent; il pense que ce corps, en présence de l'eau, donne naissance à un chlore hydraté d'oxichlorure :

$$[2(H^2Cl^2) + Cr^2(O^2Cl^2) + 10H^2O.]$$

Ce nouveau composé ($Cr^2Cl^2O^2$) qui correspond à Cr^2O^3 et à oxichlorure $Cr^2(Cl^4O)$ obtenu en exposant à l'air le protochlorure

Digitized by Google

de chrome, présente une telle instabilité qu'il se décompose par l'ébullition de la liqueur qui le contient, et même à la longue sans élévation de température.

Sur les nitrates de protoxide de mercure, par Lefort.

(Comptes-rendus de l'Institut, 1845, numéro 17.)

Dans un mémoire sur les protosels de mercure et sur les produits ammoniacaux qui en résultent, M. Lefort donne la composition des nitrates mercureux, en prenant pour base de sa notation la théorie (d'ailleurs assez peu vraisemblable) de M. Millon sur les bases polyatomiques et hydriques. Il obtient ainsi :

1° Nitrate bi-atomique neutre, $N^2O^5, H^2O, (Hg^2O)^2, H^2O$;

2° Nitrate bi-atomique acide, $N^2O^5.(Hg^2O)^2, H^2O + N^2O^5, 4H^2O\frac{H^2O}{2}$

3° Même sel déshydraté, $N^2O^5(Hg^2O)^2 + N^2O^5, H^2O$

4° Nitrate intermédiaire, $3N^2O^5, (Hg^2O)^2, H^2O + N^2O^5, H^2O$.

Désignons ces sels par leurs noms ordinairement usités, on a :

1° Nitrate mercureux basique, $N^2O^5, 2(Hg^2O) + 2$ aq.

2° Nitrate mercureux neutre, $N^2O^5, Hg^2O + 2\ 3/4$ aq.

Probablement le sel contient ou 2 aq. ou 3 aq. au lieu du nombre fractionnaire.

3° Même sel déshydraté, $2(N^2O^5, Hg^2O) + H^2O$

4° Nitrate intermédiaire ou nitrate acide, $2N^2O^5, Hg^2O + H^2O = N^2O^5, Hg^2O + N^2O^5, H^2O$.

La composition de ces sels, d'après M. Lefort, diffère de celle généralement admise d'après les analyses de MM. Mitscherlich et Kane.

Nitrate mercureux basique, $N^2O^5, 2Hg^2O + aq.$

Nitrate intermédiaire, $\begin{cases} 2N^2O^5 + 3Hg^2O + 3\,aq. \\ (N^2O^5, 2Hg^2O + aq.) + (N^2O^5, Hg^2O + 2\,aq. \end{cases}$

qu'on peut représenter par :

Nitrate mercureux neutre, $N^2O^5, Hg^2O + aq.$

Nitrate mercureux acide, $2N^2O^5, Hg^2O + aq.$

Digitized by Google

M. Descloizeaux a décrit la forme cristalline de quelques uns de ces sels de protoxide de mercure.

1. *Nitrate basique.* Prisme oblique, non symétrique de 126°, dans lequel la base fait, avec une des faces latérales, un angle de 98°, et avec l'autre un angle de 133°,10′.

Les trois arêtes qui se réunissent à l'angle solide obtus sont entre elles à peu près comme les nombres :

b : c : h :: 47 : 45 : 40.

2. *Nitrate neutre.* Forme primitive, rhomboèdre obtus de 102°,50′. Cristaux offrant généralement le rhomboèdre basé, modifié sur les angles latéraux par un autre rhomboèdre, et sur les arêtes latérales par les faces du prisme hexagonal régulier.

3. *Nitrate intermédiaire ou plutôt acide.* Prisme rhomboïdal droit de 96°,8′, dans lequel un côté de la base est à la hauteur comme 500 est à 129.

Cristaux généralement allongés suivant l'axe vertical, et aplatis parallèlement à la grande diagonale de la base.

Action du chlorure aurique sur l'hyposulfite de soude, par Fordos et Gélis.

(Ann. de phys. et de chim., 1845, numéro 4.)

Ces chimistes avaient déjà constaté dans un travail antérieur (*Revue scientifique*, t. XIV, p. 113) que le perchlorure de fer et les sels cuivriques, en réagissant sur l'hyposulfite de soude, transformaient l'acide hyposulfureux S^2O^2 en acide hyposulfurique bisulfuré S^4O^5.

$$Cl^6Fe^2 + 2(S^2O^2, NaO) = S^4O^5, NaO + Cl^2Na + 2(Cl^2Fe).$$

Une réaction semblable a lieu par le chlorure aurique ; et l'hyposulfite sodique est également transformé en partie en hyposulfate bisulfuré de soude (S^4O^5, NaO), tandis que le sel d'or forme un hyposulfite aureux (S^2O^2, AuO) qui, avec une partie d'hyposulfite sodique non altéré, peut donner naissance à un sel double cristallisé :

$$S^2O^2, AuO + 3(S^2O^2, NaO) + 4\ aq.$$

Digitized by Google

La réaction peut se représenter par l'équation suivante :

$$8(S^2O^2, NaO) + Cl^6Au + 4\,aq. = \begin{cases} 2(S^4O^5, NaO) + 3(Cl^2Na) + \\ (S^2O^2, AuO) + 3(S^2O^2, NaO) + 4\,aq. \end{cases}$$

Pour obtenir le sel double cristallisé (qui constitue la partie active de la liqueur de M. Fizeau, employée si fréquemment dans la daguerréotypie), on dissout 1 gr. de chlorure d'or et 3 gr. d'hyposulfite sodique cristallisé dans une petite quantité d'eau, et l'on verse avec beaucoup de précaution la solution d'or dans celle de l'hyposulfite; il faut après chaque addition attendre que la décoloration soit complète ; sans cela, on ne pourrait éviter la formation d'un corps brun, provenant d'une réaction secondaire.

Le mélange étant fait, on précipite par l'alcool absolu; le précipité cristallin est redissous à plusieurs reprises dans une très petite quantité d'eau, et reprécipité chaque fois par l'alcool absolu.

Le sel purifié est incolore, en aiguilles, possédant une saveur sucrée; chauffé dans un tube, il donne de l'eau (vers 150 à 160°), puis du soufre et de l'acide sulfureux; enfin, il laisse pour résidu de l'or et du sulfate sodique.

L'analyse a démontré que la formule de ce sel est :

$$S^2O^2, AuO + 3(S^2O^2, NaO) + 4\,aq.$$

Par l'action de l'iode, on obtient de l'iodure aureux, de l'iodure sodique et de l'hyposulfate bisulfuré sodique.

$$I^4 + S^2O^2, AuO + 3(S^2O^2, NaO) = AuI^2 + NaI^2 + 2(S^4O^5, NaO).$$

L'iodure aureux, sous l'influence de l'iodure alcalin, s'altère bientôt et se transforme en iodure aurique et or métallique.

L'or n'est point décelé dans ce sel double par les réactifs ordinaires, tels que le sulfate ferreux, le chlorure stanneux, l'acide oxalique ; même quelques unes des propriétés de l'acide hyposulfureux y sont masquées : ainsi l'acide chlorhydrique, l'acide sulfurique dilué, les acides végétaux peuvent être ajoutés à sa dissolution sans déterminer ni dépôt de soufre, ni dégagement d'acide sulfureux. D'un autre côté, lorsqu'on ajoute du chlorure de baryum à sa dissolution, il se produit un composé un peu soluble dans l'eau, mais que l'alcool sépare complétement de la liqueur sous forme d'un précipité gélatineux qui est un sel correspondant dans lequel l'équivalent d'oxide aureux a été conservé, tandis que ceux de soude ont été remplacés par de la baryte.

En traitant ce nouveau sel par l'acide sulfurique, on chasse la

Digitized by Google

baryte, et on obtient l'hyposulfite double de protoxide d'or et d'eau, composé incristallisable, très acide, et assez stable à la température ordinaire.

Les eaux-mères dont on a précipité par l'alcool le sel d'or fournissent des cristaux de chlorure sodique, du soufre, du sulfate de soude, et il se dégage de l'acide sulfureux : ces trois derniers produits proviennent de l'altération de l'hyposulfate bisulfuré de soude.

Recherches sur deux variétés de barytocalcite, par MM. Descloiseaux et Delesse.

(Ann. de phys. et de chim., 1845, numéro 4.)

1. Le barytocalcite d'Alston-Moor cristallise en prisme rhomboïdal oblique, et se laisse facilement cliver suivant les faces latérales et suivant la base du prisme rhomboïdal oblique.

2. Le barytocalcite de Fallowfield, en Northumberland, se présente sous forme de bipyramides dodécaèdres aiguës à triangles isocèles.

Il ne possède aucune trace de clivage ; mais sa cassure transversale indique clairement que ces pyramides sont formées par trois pyramides quadrangulaires à base rhombe se pénétrant de manière à confondre leurs axes.

L'analyse a fourni les résultats suivants :

	1. Alston-Moor. Prisme oblique.	2. Fallowfield. Prisme droit.
Carbonate de baryte,	66,20	65,31
Carbonate de chaux,	31,89	32,90
Carbonate de strontiane,		1,10
Silice,	0,27	0,20
Oxide de manganèse,		0,16
	98,36	99,67

Elle conduit naturellement à la formule :

$$\ddot{C}\,Ba + \ddot{C}\,Ca.$$

Digitized by Google

Analyse de minéraux de Russie, par Hermann.

(Journ. f. prakt. Chemie, 1845, numéro 3.)

1. *Stroganowit.*

Ce minéral se rencontre dans le lit d'une rivière de la Daurie, la Sludanka, sous forme de masses cristallines, de couleur verte claire et à cassure feuilletée. Il possède un clivage marqué dans deux directions presque rectangulaires : aussi, en le cassant, il se divise facilement en prismes quadrangulaires légèrement obliques.

Son éclat est presque vitreux et résineux ; il est translucide, quelquefois même demi-transparent. La dureté est celle de l'apatite ; la densité = 2,79.

Ce minéral, essayé au chalumeau, devient blanc et opaque, et fond en se boursouflant en une masse blanche ; avec la soude, il forme un verre opaque et ordinairement rempli de cavités ; avec le borax, il dégage du gaz carbonique et donne un verre incolore.

L'acide chlorhydrique dissout le minéral avec effervescence (CO^2), et laisse de la silice pulvérulente pour résidu.

La formule du stroganowit :

$$=(\dot{Ca}^2\dddot{Si}+2\dddot{Al}\,\dddot{Si}+\dot{Ca}\,\ddot{C}).$$

En effet, l'analyse a fourni :

	Expérience.	Calcul.
Silice,	40,58	39,72
Alumine,	28,57	29,46
Chaux,	20,20	24,49
Soude,	3,50	
Acide carbonique,	6,40	6,33
Oxide ferreux, Oxide manganeux,	0,89	
	100,14	100,00

Une petite quantité de chaux s'y trouve donc remplacée par de la soude. Le stroganowit se rapproche donc du canorinite : seulement, les 2 at. de soude de ce dernier sont presque totalement remplacés par la chaux dans le stroganowit.

Digitized by Google

On pourrait presque dire que :

Stroganowit = 1 skapolith + 1 carbonate de chaux.
Canorinite = 1 élacolith sodique + 1 carbonate de chaux.

---

2. *Antimoniate de plomb.*

Il provient probablement des mines de plomb de la steppe des Kirguises, ou de celles du district de Nertschinsk.

Ce minéral se présente en masses amorphes, de cassure compacte, plane, et à éclat résineux ; sa couleur est ordinairement jaune de soufre, mais quelquefois elle est grise, verte, noirâtre, marbrée, et la cassure feuilletée. Les masses compactes ont la dureté du fluorure calcique. La densité égale 4,60 — 4,76.

Chauffé, il perd de l'eau, et devient d'un jaune plus foncé.

Sa formule est :

$$(\dot{\dot{\dot{P}}}b^3\dot{H} + 4\,aq.)$$

	Expérience.	Calcul.
3 oxide de plomb,	61,83	62,01
1 acide antimonique,	31,71	31,32
4 eau,	6,46	6,67
	100,00	100,00

3. *Xylit.*

Provenant probablement des mines de cuivre de l'Oural, à en juger d'après la nature du carbonate de cuivre qui l'accompagne.

Ce minéral a beaucoup de ressemblance avec le bois de montagne.

Sa structure est fibreuse et entrecroisée. On peut le casser en morceaux qui possèdent une certaine élasticité.

Il est opaque, luisant, d'une couleur brune foncée, d'une dureté égale à celle du spath calcaire, d'une densité = 2,935.

Chauffé, le xylit perd de l'eau et fonce en couleur. Il ne fond que difficilement sur les arêtes en une masse noire.

Avec la soude, il donne un verre noir ; un grand excès de soude produit l'absorption d'une partie du minerai par le charbon et la réduction du fer à l'état métallique.

Le borax produit les réactions du fer.

Digitized by Google

Les acides n'attaquent presque point le minerai.
Sa formule égale :

$$\left.\begin{matrix}\dot{Ca}\\ \dot{Mg}\end{matrix}\right\}\dddot{Si} + \dddot{Fe}\,\dddot{Si} + aq.$$

L'analyse comporte une certaine quantité d'oxide de cuivre qui n'appartient pas au minerai, mais qui l'accompagne mécaniquement et se rencontre dans toutes les fentes.

	Expérience.	Calcul.
Silice,	44,06	45,23
Oxide ferrique,	37,84	38,32
Chaux,	6,58	12,03
Magnésie,	5,42	
Oxide de cuivre,	1,36	
Eau,	4,70	4,42
	99,96	100,00

Composition de l'eau de la mer du Nord, par Backs.

(Journ. f. prakt. Chemie, 1845, numéro 3.)

D'après une analyse de M. Gay-Lussac (*Gelb. Ann.*, LXIII, 204) l'eau de la mer, près Calais, possède une densité de 1,0278 à 8° c., et laisse un résidu anhydre de 3,48 p. c.

John Murray (*loc. cit.*) trouve dans l'eau du Firthof Forth :

Chlorure sodique,	2,180
Chlorure magnésique,	0,486
Chlorure calcique,	0,078
Sulfate sodique,	0,350
	3,094

M. G. Clemm analysa l'eau de mer près Barmouth, sur la côte de North-Wales, dont la densité à 19° = 1,023, et qui laisse un résidu solide = 3,078 p. c.

Il trouva :

Digitized by Google

Chlorure sodique,	2,484
Chlorure magnésique,	0,242
Sulfate magnésique,	0,206
Chlorure potassique,	0,135
Sulfate calcique,	0,120

Et, en outre, des traces de carbonate de chaux, magnésie, fer et manganèse, de phosphate de chaux, de bromures et d'iodures, de silice, de matière organique, d'acide carbonique et d'ammoniaque.

M. Backs analysa l'eau de la côte de Helgoland, dont la densité = 1,0234 à 15°, et qui contient :

Chlorure sodique,	2,358
Chlorure potassique,	0,101
Chlorure magnésique,	0,277
Sulfate magnésique,	0,199
Sulfate calcique,	0,118
	3,053

Ces trois dernières analyses, calculées pour être comparables dans une supposition, quant à la nature des sels, présentent la relation suivante :

	Firthof-Forth.	Barmouth.	Helgoland.
Chlorure sodique,	2,468	2,484	2,358
Chlorure potassique,		0,135	0,101
Chlorure magnésique,	0,240	0,242	0,277
Sulfate magnésique,	0,214	0,206	0,199
Sulfate calcique,	0,096	0,120	0,118
	3,018	3,187	3,053

Analyse de granit et d'augit, par E. Wolff.

(Journ. f. prakt. Chem., 1845, numéro 4)

1. Le granit à gros grains, constituant un bloc erratique, fut rencontré près Flensbourg (Schlesswig-Holstein). Le mica, d'une couleur noire et en lamelles cristallines, ne s'y trouve qu'en très petite quantité, ainsi que le quartz gris blanchâtre et à petit grain ; la masse principale est constituée par deux espèces de feldspath, en

Digitized by Google

cristaux très volumineux et qui se laissent facilement isoler. L'un de ces feldspaths est l'arthoulas (à base de potasse), d'une couleur grise rougeâtre d'un sel, et nacré sur la cassure principale, d'une densité = 2,578 à 20° c.

L'autre espèce de feldspath, à base de soude, d'une densité de 2,651 à 20° c., fut reconnue par l'analyse pour être un oligoklas et non de l'albite; il a une couleur jaunâtre avec une légère teinte brunâtre sur sa surface, due à un peu de fer. L'éclat sur la surface de clivage est nacré, surtout aux gros cristaux; les petits cristaux y laissent reconnaître facilement les stries caractéristiques du feldspath sodique.

L'analyse fournit les résultats suivants :

	1.	2.	3.
Silice,	64,20	64,34	64,33
Alumine,	22,67	21,87	22,83
Chaux,	4,02	4,18	4,18
Soude.	?	?	9,01

Ils correspondent, à l'exception d'un petit excès de silice, à la formule :

$$\left.\begin{matrix}\dot{Na}\\ \dot{Ca}\end{matrix}\right\}\dddot{Si}+\ddot{Al}\,\ddot{Si}^{2}.$$

Cette variété d'oligoklas contient une proportion de chaux plus considérable que celle d'autres localités.

2. *Augit* (hédenbergit) *d'Arendal.*

Cet augit se rencontre dans un calcaire lamelleux qui se rapproche du spath calcaire par sa pureté et sa structure.

L'augit est noir, d'un éclat gras à cassure conchoïde, d'une densité 3,467 à 25° c.

Il est remarquable par la simplicité de sa composition, ne contenant ni alumine ni magnésie.

L'analyse a fourni :

		Oxigène.	Atomes.
Silice,	47,78	24,82	4
Oxide ferreux,	27,01	6,14	1
Chaux,	22,95	6,45	1
	97,74		

Digitized by Google

La formule est donc :

$$\dot{Ca}^3 \ddot{Si}^2 + \dot{Fe}^3 \ddot{Si}^2.$$

Il se rapproche le plus de l'hédenbergite de Tunaberg, analysée par H. Rose, et de l'augit des îles Azores, analysé par C. Hochstetten.

De l'action du zinc sur le biphosphate sodique et sur l'acide phosphorique, par Trommer.

(Journal fur pract. Chemie, 1845, numéro 4.)

Le zinc métallique a la propriété de désoxider l'acide phosphorique, soit anhydre, soit hydraté et fondu, soit à l'état de biphosphate, à une température peu supérieure au rouge. Le phosphore mis en liberté se volatilise et brûle lorsqu'il a le contact de l'air, en se transformant en acide phosphorique et oxide de phosphore.

L'expérience se fait très facilement au chalumeau, et même avec un globule d'acide phosphorique il y a quelquefois projection de phosphore enflammé.

Le zinc passe à l'état d'oxide, qui, avec l'acide non décomposé, constitue du phosphate zincique.

Cette réduction repose évidemment sur la double affinité du zinc pour l'oxigène, et de l'oxide de zinc pour l'acide phosphorique.

Sur les combinaisons du phosphore avec l'hydrogène, par M. Paul Thénard.

(Ann. de chim. et de phys., 1845, numéro 5.)

Les deux composés d'hydrogène et de phosphore les mieux connus sont le gaz hydrogène phosphoré spontanément inflammable, et le gaz hydrogène phosphoré non spontanément inflammable.

La plupart des chimistes, partageant l'opinion de M. Rose, considéraient les deux gaz comme isomères; d'autres savants, au contraire, pensaient que l'inflammabilité spontanée était due, soit à de la vapeur de phosphore tenue en suspension dans le gaz non spontanément inflammable, soit à une très petite quantité d'un

Digitized by Google

phosphure d'hydrogène gazeux et spontanément inflammable, soit même à une très minime quantité d'un composé oxidé du phosphore (Graham). M. Leverrier ayant constaté que le gaz spontanément inflammable, exposé à la lumière, déposait un corps jaune solide et perdait son inflammabilité, en conclut que le gaz ordinaire (PH^3) non spontanément inflammable pouvait acquérir la propriété de s'enflammer spontanément; par la présence d'un gaz (PH^2) spontanément inflammable, qui se transformait, sous l'influence de la lumière, en phosphore d'hydrogène solide (PH) et en gaz hydrogène phosphoré ordinaire (PH^3) :

$$(PH^2)=PH+PH^3.$$

M. Thénard constata d'abord par expérience :

1° Que le gaz spontanément inflammable donne un dépôt de matière jaune, tandis que le gaz non spontanément inflammable n'en donne jamais.

2° Quand le gaz spontanément inflammable ne donne plus de matière jaune, il n'est plus spontanément inflammable et ressemble tout-à-fait au gaz qui ne l'a jamais été.

3° La variation de volume du gaz spontanément inflammable, en perdant cette propriété, est à peine sensible.

4° La quantité d'hydrogène libre ne varie jamais dans le gaz spontanément inflammable, par le dépôt de matière jaune.

Le phosphure de chaux étant pour ainsi dire la matière première des deux gaz hydrogènes phosphorés, puisque par l'eau il fournit le gaz spontanément inflammable, et par l'acide chlorhydrique le gaz non spontanément inflammable, c'est par son étude que M. Thénard commença ses recherches.

Phosphure de calcium.

Il s'obtient en faisant passer de la vapeur de phosphore sur de la chaux incandescente. Pour en préparer des quantités considérables, l'appareil suivant fut employé. Un creuset de terre de la capacité de 1 litre est percé au fond d'un trou de 1 à 2 centimètres de diamètre; le creuset est placé sur une grille de fourneau portant aussi un trou à son milieu; sous cette grille se trouve un petit ballon, dont le col passe à travers le trou central de la grille, pour venir s'engager au fond du creuset. Toutes les jointures sont bouchées, et toutes les pièces réunies par un lut argileux; la grille est posée sur un fourneau de manière que le ballon se trouve dans le

Digitized by Google

foyer; sur la grille sont placés deux laboratoires qui forment le foyer destiné à chauffer le creuset.

L'appareil étant ainsi disposé, pour préparer le phosphure, on jette dans le creuset assez de phosphore bien sec pour remplir le ballon, et on couvre le creuset; afin que le ballon ne reçoive pas de suite l'action du feu, on dispose un lit de charbon noir sur la grille, et quelques charbons rouges par dessus; le phosphore s'échauffe doucement, fond et coule dans le ballon.

[*Note.* Pour éviter qu'une partie du phosphore ne brûle aux dépens de l'air du creuset, il est préférable de remplir le ballon de petits morceaux de phosphore, qu'on fait fondre peu à peu au moyen d'une lampe à alcool ou par quelques charbons rouges. Cette précaution est indiquée, moins pour éviter une petite perte de phosphore que pour ne pas souiller le creuset d'oxide de phosphore et d'acide phosphorique.]

Aussitôt on découvre le creuset et on le remplit de chaux; le feu est activé et la température portée au rouge; bientôt la chaleur se propageant, le phosphore commence à se volatiliser, et on précipite l'opération en chauffant le ballon lui-même par quelques charbons rouges. L'opération étant terminée, on recouvre la partie supérieure du creuset avec des fragments de porcelaine et du sable chaud. On laisse refroidir l'appareil et on en retire ensuite rapidement le produit.

[*Note.* J'ai préparé à plusieurs reprises des quantités considérables de phosphure de calcium par le procédé suivant, qui est encore plus simple que celui qui vient d'être indiqué. Dans un fourneau ordinaire, on place un creuset de Hesse (le plus profond possible relativement à son diamètre) rempli de fragments de chaux vive, jusqu'à 1 centimètre du bord supérieur. Le tout étant chauffé au rouge au moyen d'un tube de verre assez large et suffisamment long, on fait glisser des bâtons secs de phosphore sur la chaux. Le phosphore, étant mauvais conducteur de la chaleur, ne se volatilise pas instantanément, mais fond et coule dans la partie inférieure du creuset, où il se réduit en vapeur. La combinaison avec la chaux se fait avec un dégagement de lumière extrêmement intense. Dès qu'on a introduit assez de phosphore, on recouvre le creuset de sable chaud, dont on a séparé la poussière et les parties les plus fines par le tamis, et on le retire du feu. Le produit n'est enlevé qu'après complet refroidissement. Les parties inférieures sont tou-

Digitized by Google

jours très pures ; mais ordinairement les fragments de la surface sont encore blancs et recouverts partiellement d'oxide de phosphore rouge. Ils s'enflamment quelquefois spontanément dès qu'ils ont l'accès de l'air : aussi faut-il les séparer promptement et les recouvrir de sable ; le meilleur moyen de les utiliser consiste à en préparer de l'hypophosphite de chaux par l'action de l'eau. E. K.]

Le phosphure de calcium ainsi obtenu est un corps rouge-cinabre, très dur, inaltérable à la température ordinaire dans l'air, l'hydrogène et l'acide carbonique secs ; à une température élevée, l'oxigène, le chlore, l'acide chlorhydrique, le décomposent, mais jamais complétement à cause de sa cohésion ; il s'altère promptement dans les gaz humides, se délite, donne une poudre brune et du gaz hydrogène phosphoré.

Cette poussière, jetée dans l'eau ou chauffée à 100°, dégage de grandes quantités de gaz hydrogène phosphoré non spontanément inflammable, mélangé d'hydrogène libre. Elle détone et s'enflamme lorsqu'on y projette une goutte d'acide nitrique très concentré. L'approche d'une allumette embrasée y met le feu, et il reste un résidu blanc. — Le phosphure de calcium non délité et réduit en poudre présente les mêmes caractères ; traité par l'acide sulfurique, il se transforme en phosphate, avec dégagement d'acide sulfureux. L'acide nitrique très concentré ne l'attaque point ; mais s'il est étendu, l'action est si vive, qu'elle est souvent accompagnée de lumière dans le sein même du liquide.

Le phosphure de chaux a pour composition :

Calcium,	63,64
Phosphore,	36,36
	100,00

Sa formule brute est donc :

$$P\,Ca^2.$$

Pour déterminer les proportions relatives de phosphate calcique et de phosphure de calcium que contient le phosphure de chaux, M. Thénard s'est servi de l'action de l'acide chlorhydrique assez concentré, qui empêche totalement la formation d'hypophosphite, et ne produit que de l'hydrogène phosphoré non spontanément inflammable et parfaitement pur, et dans le résidu du phosphate de chaux, du chorure de calcium et du phosphure d'hydrogène solide tout-à-fait insoluble.

Digitized by Google

Il a trouvé, en dosant l'acide phosphorique, que le phosphure de chaux contient 2 équivalents de phosphate de chaux neutre et 5 équivalents de phosphure de calcium, composé lui-même de 1 équivalent de phosphore et 2 de calcium.

$$2(PO^5, 2CaO)+5PCa^2.$$

L'équation suivante représente la réaction avec l'acide chlorhydrique:

$$7(P, 2CaO)+10HCl=2(PO^5, 2CaO)+5PCa^2+10HCl$$
$$=2(PO^5, 2CaO)+10ClCa+P^2H+3(PH^3).$$

Hydrogène phosphoré liquide.

Le phosphure de calcium en contact avec l'eau éprouve au premier instant une décomposition extrêmement simple; le calcium s'unit à l'oxigène de l'eau pour former de la chaux, tandis que le phosphore se combine à l'hydrogène et constitue un nouvel hydrogène phosphoré, liquide à la température ordinaire, très volatil, spontanément inflammable, mais jouissant de très peu de stabilité.

$$5PCa^2+10HO=10CaO+5PH^2.$$

Pour le préparer, on prend un flacon de 1/2 litre environ, à 3 tubulures; à celle du milieu est ajusté un tube de 1 centimètre de diamètre et de 30 de longueur; il plonge de 4 à 5 centimètres. La deuxième porte un tube recourbé à 2 angles droits, qui, plongeant dans un verre rempli d'eau, fait fonction de tube de sûreté. A la troisième est adapté un tube de 1/2 centimètre de diamètre, qui fait d'abord l'office de condensateur, et plus tard celui de récipient; pour cela on le contourne, de manière qu'il vienne plonger sur une longueur horizontale de 10 à 15 centimètres dans un mélange refrigérant (c'est là que le liquide viendra se condenser); puis à l'endroit où il sort du mélange, il est courbé en col de cygne et étranglé en deux points éloignés de 4 à 5 centimètres l'un de l'autre. (C'est entre les deux étranglements qu'à la fin de l'opération le liquide sera ramolli et conservé.) Ainsi monté, le flacon rempli aux 3/4 d'eau et placé dans un bain-marie à 60-70°, l'appareil est prêt à fonctionner. On bouche d'abord l'extrémité du tube contourné, et l'on introduit par le tube droit quelques morceaux de phosphure de calcium; il se produit du gaz qui brûle et chasse l'air par le tube de sûreté; on débouche alors le tube condensateur, le

Digitized by Google

gaz le traverse, et successivement l'on jette dans le flacon 30 a 40 gr. de phosphure de chaux ; dès les premiers instants l'on aperçoit des gouttes d'un liquide oléagineux qui se condense dans la partie du tube la plus rapprochée du flacon. Au bout de 15 à 20 minutes, on peut mettre fin à l'expérience si elle ne finit pas d'elle-même ; car, en même temps qu'il se condense du phosphure liquide dans le tube, il se condense aussi de l'eau, qui souvent vient l'obstruer en se congelant ; alors on effile la partie étranglée la plus rapprochée de l'extrémité ouverte du tube, puis on sépare ce dernier du flacon et l'on bouche avec le doigt l'ouverture qui devient libre. (Pour éviter de se brûler, on entoure l'index gauche de caoutchouc.) Le tube étant sorti du mélange refrigérant, on l'échauffe doucement avec la main, de manière à fondre la glace qui s'y est formée ; on incline légèrement la main gauche vers le bas, puis on replonge le tube dans le mélange refrigérant ; l'eau se congèle, et l'on fait couler le phosphure liquide jusque dans la partie du tube qui vient d'être effilée ; alors on affile le tube au second étranglement, et le phosphure liquide se trouve ainsi renfermé dans un tube fermé par les deux bouts. Une opération bien conduite donne jusqu'à 2 gr. de produit.

Le phosphure d'hydrogène liquide est incolore et transparent ; il ne se congèle pas à 20° au-dessous de 0°, il paraît se volatiliser en se décomposant à 30 ou 40°.

Son pouvoir réfringent est considérable ; il est tout-à-fait insoluble dans l'eau ; l'alcool et l'essence de térébenthine semblent le dissoudre, mais bientôt il s'y décompose.

Au contact de l'air, le phosphure liquide s'enflamme vivement et brûle avec une lumière blanche très intense, en donnant lieu à des fumées épaisses. Il se transforme rapidement, sous l'influence de la lumière solaire, en gaz hydrogène phosphoré et en phosphure d'hydrogène solide.

1 gramme suffit pour communiquer l'inflammabilité spontanée à plus de 500 gr. d'hydrogène phosphoré non spontanément inflammable : ainsi rendu spontanément inflammable, le gaz ressemble à celui qui l'est naturellement.

Mélangés avec du phosphure d'hydrogène liquide, tous les gaz combustibles deviennent spontanément inflammables.

Le phosphure d'hydrogène liquide se décompose avec une extrême facilité, sous l'influence d'agents qui ne lui prennent rien et ne lui cèdent rien non plus. Ainsi, par exemple, 1 centimètre cube de gaz chlorhydrique décompose instantanément une quantité indéfinie de phosphure d'hydrogène liquide. Tous les chlorures vo-

Digitized by Google

latfls produisent le même phénomène, à cela près que quelques uns absorbent le gaz hydrogène phosphoré. Beaucoup d'oxides métalliques détruisent le phosphure liquide en s'emparent de ses éléments. En un mot, tous les corps qui ont une action sur le phosphure d'hydrogène, spontanément inflammable, en ont une semblable, mais bien plus vive, sur le phosphure liquide.

Sa composition a été déterminée par sa transformation en gaz hydrogène phosphoré gazeux et en phosphure d'hydrogène liquide; on a trouvé qu'il se formait exactement 3 équivalents du premier pour 1 équivalent du second.

$$3PH^3+P^2H=5P^1H^2.$$

Sa formule est donc PH^2, correspondant à l'amidogène NH^2.

Hydrogène phosphoré solide.

Le composé se prépare par plusieurs moyens. Il s'obtient d'abord par la décomposition spontanée du phosphure liquide; ou bien en faisant passer du gaz spontanément inflammable dans de l'acide chlorhydrique concentré. Le procédé le plus simple consiste à traiter à chaud du phosphure de chaux par l'acide chlorhydrique concentré, en se mettant à l'abri du contact de l'air; quand il ne se dégage plus de gaz, on lave la matière insoluble qui est restée dans le matras et on la dessèche dans le vide.

Le corps est jaune-serin, lorsqu'il est pur et récemment préparé; la lumière le fait aisément passer au jaune orangé; il n'a point d'odeur. A 200° il s'enflamme; à la température ordinaire l'air sec est sans action sur lui; l'air humide l'altère à la longue; chauffé en vases clos, il se décompose en phosphure et hydrogène phosphoré, en devenant d'abord rouge-orangé et enfin gris-noirâtre.

Il ne se dissout que dans le phosphure d'hydrogène liquide. Le chlore, le perchlorure de phosphore, l'acide sulfurique, l'acide nitrique, les chlorures d'oxide le décomposent instantanément. Il n'est point altéré par le protochlorure de phosphore, le bichlorure d'étain et le chlorure de titane.

La potasse caustique en solution dans l'alcool anhydre le dissout en dégageant de l'hydrogène phosphoré, mélangé d'un peu d'hydrogène libre, et il reste une liqueur rouge, qui se maintient quelque temps. Cependant, après quelques heures, elle se décolore et donne de l'hydrogène presque pur et un hypophosphite. La chaleur produit immédiatement le même résultat.

Cette liqueur rouge, traitée par l'eau, précipite en jaune sale;

Digitized by Google

par un acide ; le précipité est jaune-serin : c'est de l'hydrate d'oxide de phosphore, décrit par M. Leverrier.

Sous l'influence du sulfate de cuivre, le phosphure solide donne un précipité noir de phosphure de cuivre. Mélangé de cuivre métallique avec le chlorate de potasse, le phosphure solide détone violemment par le choc ou par la chaleur ; il détone encore par le choc avec l'oxide d'argent, l'oxide de mercure précipité, mais non avec l'oxide obtenu par calcination du nitrate.

En mêlant plusieurs centigrammes de phosphure solide à l'oxide de cuivre, on a quelquefois, par la chaleur, des explosions épouvantables. Il ne faut donc jamais l'analyser par cette méthode, sans avoir soin de mettre l'oxide d'un côté, le phosphure d'un autre. Sa composition, déterminée par plusieurs procédés, correspond à la formule P^2H.

Il existe un phosphure d'hydrogène qui semble isomérique avec le phosphure jaune : c'est celui qu'on obtient en traitant, au bout de vingt-quatre heures, les résidus de la préparation du gaz spontanément inflammable. Il est d'un vert-feuille et se décompose, comme le précédent, par l'action seule de la chaleur. Il se dissout complétement et avec dégagement d'hydrogène phosphoré, dans une dissolution alcoolique de potasse ; la liqueur est rouge de sang. Une ébullition prolongée dans l'acide chlorhydrique n'en altère ni la teinte ni les propriétés. Les analyses du phosphure vert ne donnent pas autant d'hydrogène que celles du phosphore jaune, ce qui est dû à la présence d'un peu d'oxide et phosphure, provenant de l'action de la chaux et de l'eau sur le phosphore solide.

Il résulte donc de ces recherches que dans la préparation du gaz spontanément inflammable par l'eau et le phosphure de chaux, il se produit simultanément du phosphure liquide et de la chaux ; le liquide produit se divise en deux parties : l'une qui se décompose spontanément, et donne du phosphure solide et du phosphure gazeux ; l'autre qui se laisse entraîner par le phosphure gazeux et lui communique la propriété de brûler spontanément. Le phosphure solide, en présence d'un alcali libre et de l'eau, se transforme en phosphure gazeux et en oxide de phosphore ; sous les mêmes influences l'oxide de phosphore passe à l'état d'acide hyperphosphoreux et d'hydrogène libre.

C'est donc à toute cette suite de réactions qu'il faut attribuer la différence de composition du gaz spontanément inflammable qui se dégage dans la même préparation.

Si au lieu de laisser l'alcali libre, on le neutralise par un acide énergique au moment de sa formation (ce qui a lieu en décompo-

Digitized by Google

sant le phosphure de chaux par l'acide chlorhydrique), alors on n'obtient que du gaz non spontanément inflammable bien pur et sans mélange d'hydrogène libre, une quantité toujours proportionnelle de phosphure solide et point d'hypophosphite.

M. Rose avait basé sa théorie de l'isomérie des deux gaz hydrogènes phosphorés sur la propriété qu'ils possèdent de s'unir à certains chlorures métalliques, et de former avec eux des combinaisons identiquement semblables; de telle sorte que lorsqu'on vient à les décomposer par l'eau, celle-ci en sépare un gaz qui ne s'enflamme pas spontanément, tandis qu'avec l'ammoniaque liquide, il s'enflamme, au contraire, constamment. M. Thénard en donne l'explication suivante.

Le gaz hydrogène phosphoré pur, bien dépouillé de phosphure liquide, n'est pas inflammable à la température ordinaire; mais il suffit d'une faible élévation de température pour rendre sa combustion très facile; à 100° il s'enflamme déjà. Toutes les fois donc que par quelque action chimique ce gaz sera porté à la température qui vient d'être indiquée, s'il a le contact de l'air, il s'embrasera. C'est précisément ce qui arrive quand on décompose par l'ammoniaque liquide des combinaisons d'hydrogène phosphoré avec les chlorures de titane et d'étain.

Le mélange s'échauffe, et le gaz devient par cela seul inflammable; ce qui le prouve, c'est que si on le refroidit pendant un instant seulement en opérant la décomposition sur le mercure, et versant ensuite le gaz dans l'atmosphère, il cesse d'être spontanément inflammable.

Le gaz séparé par l'eau des combinaisons précédentes ne s'enflamme pas à l'air, suivant M. Rose. Cela est exact, pourvu qu'on opère de telle sorte que le gaz, au moment où il se dégage, ne puisse s'échauffer. On remplit cette condition en laissant tomber le composé dans une quantité d'eau relativement très considérable; mais si l'on met au contraire beaucoup de chlorure hydrophosphoré dans peu d'eau, le mélange s'échauffe, et le gaz qui s'en dégage brûle alors avec activité.

C'est encore par un effet de température que le gaz non spontanément inflammable s'enflamme quand, à l'air, il se trouve en contact avec les chlorures d'étain, d'antimoine, de titane, les acides sulfurique, nitrique, même le deutoxide d'azote, et en général avec tous les corps qui ont sur lui une réaction énergique.

[*Note*. Les seuls faits qui restent encore à expliquer sont ceux observés par M. Graham, sur la transformation du gaz non spon-

Digitized by Google

tanément inflammable, en gaz spontanément inflammable, par des quantités excessivement faibles de vapeurs nitreuses. On ne peut admettre l'influence de la température, puisque les gaz étaient recueillis sur le mercure, et qu'ils y séjournèrent pendant plusieurs heures sans perdre la propriété de s'enflammer spontanément. Faut-il admettre que le gaz PH^3, en contact avec une petite quantité de matière oxidante, peut passer à l'état de PH^2, par la combustion partielle de l'hydrogène (ce qui serait en opposition avec des expériences de M. Dumas, qui a constaté que le phosphore se brûle avant l'hydrogène); ou bien un composé oxidé du phosphore pourrait-il intervenir, comme semble le soupçonner M. Graham ?]

Sur la préparation de l'acide phosphorique, par M. Grégory.

(Ann. der Chem. u. Pharm. v. Liebig et Wohler, 1844, numéro 4.)

Dans les traités de chimie les plus modernes, on trouve le procédé suivant pour extraire l'acide phosphorique des os calcinés. Il consiste à précipiter toute la chaux du phosphate acide de chaux par un excès d'acide sulfurique, à évaporer, à calciner légèrement et à dissoudre l'acide phosphorique dans l'alcool, pour le séparer du phosphate de magnésie, qui y est insoluble. M. Grégory trouva que l'alcool peut dissoudre, conjointement avec l'acide phosphorique, une quantité très notable de phosphate de magnésie. Cet acide phosphorique impur se dissout complétement dans l'eau; la solution, concentrée dans un vase en platine, jusqu'à ce qu'elle devienne sirupeuse, et qu'à une température d'à peu près 315°, des vapeurs d'acide phosphorique se dégagent avec les vapeurs d'eau, commence tout-à-coup à se troubler et dépose une poudre blanche.

En traitant la masse par l'eau, on obtient maintenant une solution pure d'acide phosphorique, tout-à-fait exempte de magnésie, tandis que la poudre blanche, qui constitue un phosphate de magnésie, reste parfaitement insoluble.

L'acide phosphorique pur se prépare, d'après cette observation, de la manière suivante. Après avoir précipité toute la chaux par un excès d'acide sulfurique, on évapore la liqueur claire, et on chauffe le résidu pendant quelque temps à une température voisine du rouge; le verre obtenu est redissous dans l'eau bouillante; la solution évaporée est maintenue pendant une demi-heure à une température voisine de 315°; en redissolvant dans l'eau pure, on a main-

Digitized by Google

tenant une solution d'acide phosphorique exempte d'acide sulfurique, de chaux et de magnésie.

Ce procédé a l'avantage de fournir tout l'acide phosphorique contenu dans les os, à l'exception de celui qui s'y trouve à l'état de phosphate magnésique, et en outre les opérations peuvent se faire sans danger dans des vases en platine, qui n'en sont nullement attaqués, ce qui n'a pas lieu dans la calcination du phosphate d'ammoniaque ou d'un acide phosphorique contenant de l'alcool, qui ne peut se faire sans corroder fortement le platine.

Le phosphate de magnésie, qui s'est séparé à 315°, est une poudre blanche, fine, d'une faible éclat soyeux. Elle est insoluble dans l'eau, dans l'acide phosphorique, dans l'acide chlorhydrique, dans l'eau régale et dans le carbonate d'ammoniaque.

Desséché à 100°, ce sel ne contient plus d'eau et peut être calciné sans perdre de poids. L'analyse démontre la présence de 16,78 — 16,92 — 15,94 p. c. de magnésie.

Ces nombres correspondant à la formule :

$$3P^2O^5+2MgO,$$

qui exige 16,17 p. c. de magnésie.

Ce sel se distingue, par son insolubilité dans les acides, de tous les autres phosphates de magnésie.

Il est assez difficile d'exprimer la formule rationnelle de ce sesquiphosphate de magnésie.

Ce sel serait-il un métaphosphate?

$$2(P^2O^5, MgO)+P^2O^5.$$

Dans ce cas, il manque un at. d'eau à l'acide phosphorique en dehors de la formule.

On peut encore moins admettre que ce soit un phosphate :

$$P^2O^5, 2MgO+2(P^2O^5),$$

avec 2 at. d'acide phosphorique anhydre remplaçant l'eau de cristallisation ; et d'après les théories admises jusqu'ici, on ne saurait y faire rentrer un sesquiphosphate anhydre.

Ce sel est une nouvelle preuve que l'histoire des phosphates est encore loin d'être complète, et les notions théoriques que nous en avons maintenant pourront bien plus tard éprouver quelques modifications importantes.

Digitized by Google

Notices minéralogiques, par M. Marignac.

(Ann. de chim. et de phys., 1845, numéro 5.)

Gismondine et phillipsite.

On ne possède encore que des données fort incertaines sur les minéraux du Vésuve, désignés sous les noms divers de gismondine, phillipsite, zéagonite et abrazite. Dans plusieurs traités de minéralogie, ces minéraux sont réunis en un appendice à l'harmotome, et confondus avec l'harmotome à base de chaux.

M. Marignac, en examinant avec soin ces minéraux, les divise en deux groupes distincts :

La *gismondine* se présente sous forme de cristaux octaédriques, le plus souvent isolés et distincts, quelquefois cependant groupés, mais n'affectant pas ordinairement une structure mamelonnée. Au chalumeau, ils blanchissent, foisonnent excessivement et fondent en un verre blanc laiteux. Sa densité = 2.265. La gismondine s'attaque avec une extrême facilité par les acides ; même sans être pulvérisée, elle se dissout peu à peu à froid dans l'acide chlorhydrique étendu. La liqueur se prend par l'évaporation en une gelée incolore et transparente. Ce minéral perd, lorsqu'il est pulvérisé, une partie de son eau à la température ordinaire dans le vide, 5,47 p. c.; ce qui correspond presque à 3 équivalents.

Les cristaux, exposés à une chaleur même inférieure à 100°, perdent de l'eau et deviennent opaques; par la calcination, la perte s'élève à 20,96 p. c.

L'analyse a fourni les données suivantes, pour la gismondine cristallisée.

		Oxigène.	
Silice,	35,88	18,64	9
Alumine,	27,23	12,71	6
Chaux,	13,12	3,75	2
Potasse,	2,85	0,48	
Eau,	21,10	18,76	9
	100,18		

Sa formule est donc :

$$(\dot{Ca},\dot{K})^2\,\dddot{Si} + 2\dddot{Al}\,\dddot{Si} + 9\ aq.$$

Digitized by Google

Les cristaux de ce minéral paraissent être des octaèdres à base carrée. Quoique leurs faces paraissent très nettes, elles donnent presque toujours plusieurs réflexions. La moyenne des résultats est : pour les angles sur les arêtes de la base, 92° 30′ ; pour ceux sur les arêtes culminantes, 118° 30′. Les faces des cristaux n'offrent jamais les stries caractéristiques de la phillipsite.

La forme mamelonnée n'est pas fréquente : cependant elle se rencontre quelquefois, et alors le minéral pourrait être confondu avec la phillipsite. Mais les mamelons de sismondine sont moins éclatants, moins diaphanes ; ils n'affectent pas entièrement une structure rayonnée, et sont dépourvus de *stries* sur les facettes des pointements.

La *phillipsite* se présente le plus souvent en mamelons tout hérissés de pointements à quatre faces, d'où sortent quelquefois des cristaux prismatiques transparents, ayant la forme de prismes carrés terminés par quatre faces placées sur les angles de la base ; d'autres échantillons ne présentent point de structure mamelonnée, mais seulement les prismes non transparents et caractérisés par une couleur blanchâtre. Ces prismes ne sont point simples ; très souvent on aperçoit vers les arêtes verticales du prisme un angle rentrant, une gouttière longitudinale qui indique le croisement de deux prismes rectangulaires associés sur un axe vertical commun ; en outre, les faces du pointement offrent toujours à la loupe deux systèmes de stries, dirigés obliquement l'un sur l'autre. Si l'on suppose chaque face du pointement divisée en deux moitiés triangulaires par une diagonale partant du sommet du cristal et aboutissant à l'arête verticale du prisme, chacune de ces moitiés est striée de lignes parallèles à son intersection avec la face adjacente du prisme. Il résulte évidemment de là que ces prismes proviennent de deux cristaux prismatiques, réunis à angle droit suivant l'axe vertical, groupement identique avec celui que présentent habituellement les cristaux d'harmatome.

L'irrégularité des faces rend des mesures exactes impossibles ; les angles qui ont été retrouvés le plus souvent sont :

Inclinaison par-dessus le sommet de deux faces opposées du pointement, 91° 12′ à 91° 30′. — Inclinaison de deux faces adjacentes du pointement, 120° 4′ à 121° 20′ environ.

Il en résulterait que le pointement appartiendrait à un octaèdre rhomboïdal. — Souvent les cristaux de phillipsite sont en outre groupés tantôt par quatre, suivant deux axes rectangulaires, tantôt par six, suivant trois axes rectangulaires. Il est à remarquer que les stries des faces du pointement se retrouvent non seulement sur les

Digitized by Google

cristaux prismatiques, transparents ou opaques, mais aussi sur toutes les facettes dont sont hérissés les échantillons mamelonnés.

Au chalumeau, la phillipsite blanchit, s'exfolie presque sans foisonnement, et fond en un verre limpide. Sa densité = 2,213.

Elle se comporte avec les acides comme la gismondine.

Une chaleur modérée ne l'altère pas ; calcinée, elle perd 15 à 15,5 p. c. d'eau.

L'analyse a donné les résultats suivants :

	1.	2.	Oxigène.	
Silice,	42,87	43,64	22,67	12
Alumine,	25,00	24,39	11,39	6
Chaux,	7,97	6,92	1,98	2
Potasse,	9,29	10,35	1,75	
Eau,	15,44	15,05	13,38	7
	100,48	100,35		

Ces nombres conduisent aux formules :

$$\dot{K}\,\dddot{Si} + \dot{Ca}\,\dddot{Si} + 2\ddot{Al}\,\dddot{Si} + 7\ aq.,$$

ou bien :

$$2(\dot{K}\,\dot{Ca})\dddot{Si} + 2\ddot{Al}\,\dddot{Si} + 7\ aq.$$

Greenovite de la mine de Saint-Marcel.

Sa densité = 3,479. Pour l'analyse, le minéral fut attaqué par l'acide fluorhydrique et l'acide titanique séparé du fer et du manganèse d'après la méthode de M. Berthier, par l'acide sulfureux. Les résultats furent les suivants :

Acide silicique,	32,66	32,26
Acide titanique,	38,44	38,57
Chaux,	27,21	27,65
Oxide de fer,	0,74	0,76
Oxide de manganèse,	0,95	0,76
	100,00	100,00

Ces nombres s'accordent avec ceux que M. H. Rose a obtenus par l'analyse de plusieurs variétés de sphène, et conduisent à la formule

$$\ddot{Ti}^3\,\dddot{Si} + \dot{Ca}^3\,\dddot{Si},$$

Digitized by Google

qui exigerait :

Silice,	31,08
Acide titanique,	40,66
Chaux,	28,26
	100,00

Le greenovite est donc un sphène manganésifère.

Disthène et staurotide du Saint-Gothard.

1° *Disthène.* Cristaux limpides légèrement bleuâtres. Densité = 3,60.

	Trouvé.	Calculé.
Silice,	36,60	37,48
Alumine,	62,66	62,52
Oxide ferrique,	0,84	
	100,10	100,00

Sa formule est donc :

$$\dddot{Al}^3\,\dddot{Si}^2.$$

2° *Staurotide.* Les cristaux, d'un brun rougeâtre et transparents, deviennent par calcination noirs et opaques, et perdent 1,35 p. c de leur poids. La matière calcinée a donné :

	Trouvé.	Calculé.
Silice,	28,47	29,25
Alumine,	53,34	54,23
Oxide ferrique,	17,41	16,52
Oxide manganique,	0,31	
Magnésie,	0,72	
	100,25	100,00

Sa formule est donc :

$$\dddot{Fe}^2\,\dddot{Si} + 5\dddot{Al}^2\dddot{Si}.$$

Les diverses analyses connues de staurotide semblent montrer que l'alumine et l'oxide ferrique se remplacent comme bases isomorphes en proportions variables.

Digitized by Google

Chrichtonite de la vallée du Bourg-d'Oysans.

Tables hexagonales surmontées par des rhomboèdres très obtus. Densité = 4,727. L'analyse a fourni :

	1.	2.	3.	Calcul.
Acide titanique,	52,27	51,76	53,12	52,82
Oxide ferreux,	46,53		46,17	47,18
Oxide ferrique,	1,20			
	100,00			100,00

La composition du minerai s'exprime donc par la formule :

$$\dot{Fe}\,\ddot{Ti},$$

ou, d'après M. H. Rose :

$$\dddot{Fe}\,\dddot{Ti}.$$

Fer titané de Washington (Washingtonite).

Ce minéral cristallise en rhomboèdres sous l'angle de 86°; sa forme habituelle est un prisme hexaèdre aplati, modifié sur trois sommets alternatifs de chaque base, par les faces du rhomboèdre primitif. Densité = 4,992.

Composition.	Expérience.	Oxigène.		Calcul.
Oxide ferrique,	59,07	17,72	4	58,28
Oxide ferreux,	18,72	4,16	1	19,68
Acide titanique,	22,21	8,82	2	22,04
	100,00			100,00

La formule est donc :

$$3\dot{Fe}\,\ddot{Ti} + 4\dddot{Fe}.$$

D'après l'hypothèse de M. Rose :

$$3\dddot{Ti} + 11\dddot{Fe}.$$

Cette composition est à peu près identique avec celle trouvée par M. Mosander pour le fer titané d'Arendal.

Digitized by Google

Le fer titané de Washington offre un nouvel exemple d'isomorphisme à ajouter à tous ceux que l'on connaissait déjà entre les fers titanés et le fer oligiste. La chrichtonite est probablement aussi isomorphe avec le fer oligiste ; en tout cas, elle lui ressemble tellement, que sans le reflet violet de ses lames et la couleur noire de sa poussière, il serait impossible de la distinguer sans essais chimiques.

Chlorite.

Les minéraux désignés généralement sous ce nom doivent se ranger en deux espèces, distinctes par leur composition.

1° Les *chlorites* proprement dites (d'Achmatowsk, en Sibérie, du Schwarzenstein, du Zillerthal en Tyrol).

2° Les *ripidolithes* (du Ranrés en Salzbourg, de Greiner en Zillerthal, du Saint-Gothard).

M. Kobel a indiqué un moyen facile pour les distinguer : la chlorite de Sibérie blanchit au chalumeau et fond très difficilement sur les bords en émail gris sale ; la rapidolithe fond plus ou moins facilement en un globule noir magnétique.

La chlorite d'Ala, en Piémont, accompagnant les grenats et les pyroxènes, appartient aux chlorites proprement dites.

La substance écailleuse que l'on rencontre fréquemment en France, dans les filons quartzifères ou feldspathiques, appartient généralement aux ripidolithes.

M. Marignac a analysé deux échantillons du Dauphiné, l'un de Saint-Christophe, dans la vallée de Bourg-d'Oysans, l'autre du mont des Sept-Lacs, entre Allevard et Allemont.

Cette substance se présente soit sous forme de paillettes cristallines d'un vert plus ou moins foncé, recouvrant ou pénétrant les cristaux de divers minéraux, soit en masses compactes, friables, formées de petites paillettes ou écailles cristallines, probablement hexagonales. Sa densité = 2,88, 2,89 et 2,91.

Composition.	St.-Cristophe.	Mont des Sept-Lacs.	
Silice,	26,88	27,14	
Alumine,	17,52	19,19	18,93
Oxide ferreux,	29,76	24,76	25,27
Magnésie,	13,84	16,78	16,85
Eau,	11,38	11,50	
	99,33	99,37	

Digitized by Google

Elles se représentent donc par la formule de M. Kobell.

$$2\dot{M}g\,\dddot{A}l + 3(Mg, Fe)^2\dddot{S}i + 6\,aq.$$

Chlorite de Traverselle, en Piémont.

Cette chlorite proprement dite accompagne souvent le fer oxidulé, et se présente en lames grossièrement hexagonales, atteignant jusqu'à 3 à 6 centimètres de côté, et assez irrégulièrement groupées. Elle est très onctueuse au toucher.

Il est probable que ce minéral est un mélange de chlorite et de talc.

Composition.	1.	2.	3.
Silice,	38,45	39,81	41,34
Alumine,	11,75	12,56	11,42
Oxide ferreux,	12,82	11,10	10,09
Magnésie,	28,19	28,41	29,67
Eau,	8,49	7,79	7,66
	99,70	99,67	100,18

Si l'on calcule les rapports des quantités d'oxigène contenues dans la silice, l'alumine, la magnésie, l'oxide ferreux et l'eau, on trouve :

Dans la première analyse,	21 : 6 :: 14 : 8
Dans la troisième analyse,	24 : 6 :: 16 : 8

Si l'on retranche les rapports :

12 : 6 :: 10 : 8

qui existent entre les éléments des chlorites hexagonales, il reste :

Dans le premier cas,	9 : 0 :: 4 : 0
Dans le troisième cas,	12 : 0 :: 6 : 0

c'est-à-dire dans les deux cas presque également les éléments d'un bisilicate de magnésie avec un petit excès de silice.

Or, c'est précisément la formule du talc.

La présence du talc explique la grande onctuosité de ce minéral, qui ne constitue donc pas une espèce minérale proprement dite.

Digitized by Google

Analyse de la herschelite ou de l'hydrolite, par M. Damour.

(Ann. de chim. et de phys., 1845, numéro 5.)

Ce minéral se rencontre en cristaux groupés confusément, à la manière de la prehnite, dans les cavités d'une lave altérée des environs d'Aci-Reale, en Sicile ; il est accompagné de phillipsite.

La herschelite est incolore et transparente ; lorsque la surface est altérée, elle est d'un blanc pur. Suivant M. Levy, sa forme dérive d'un prisme hexagonal régulier : les cristaux sont des dodécaèdres bipyramides basés. L'inclinaison de la base sur les faces de la pyramide est de 132° environ. L'inclinaison des faces adjacentes de la pyramide est de 124°,45'.

Ce minéral est fragile ; sa cassure est vitreuse et sans apparence de clivage ; il raie difficilement le verre. Sa densité = 2,06.

Il est hygroscopique. A la flamme du chalumeau, il blanchit, devient opaque et fond lentement en émail blanc de lait.

Les acides l'attaquent difficilement, même après calcination ; ils laissent un résidu de silice. La potasse concentrée liquide dissout également la herschelite réduite en poudre fine ; la solution, au contact de l'air, forme un dépôt gélatineux qui est un silicate d'alumine et de potasse.

L'analyse a démontré l'identité de la herschelite avec l'hydrolite.

Elle a fourni les nombres suivants :

	1.	Oxigène.	2.	Oxigène.	
Silice,	47,39	24,62	47,46	24,65	8
Alumine,	20,90	9,76	20,18	9,42	3
Soude,	8,33		9,35		
Potasse,	4,39	2,98	4,17	3,16	1
Chaux,	0,38		0,25		
Eau,	17,84	15,85	17,65	15,68	5
	99,23		99,06		

Ces résultats peuvent être reproduits par la formule :

$$(\dot{Na},\dot{K},\dot{Ca})^3\ddot{Si}^2+3\dddot{Al}\ddot{Si}^2+15\ aq.$$

Le minéral se range à côté de la chabasie, sous la formule générale :

$$\dot{R}^3\ddot{Si}^2+3\dddot{R}\ddot{Si}^2+15\ aq.$$

Digitized by Google

Dans la chabasie, $\dot{R}$ représente la chaux ; dans la herschelite, $\dot{R}$ représente la soude et la potasse.

M. Damour propose de supprimer le nom d'hydrolite et de conserver celui de herschelite.

Recherches sur le porphyre rouge de Halle, par M. E. Wolff.

(Journ. f. prakt. Chem., 1845, numéro 4.)

I. PORPHYRE ANCIEN.

a. *Porphyre gris de Sandfelsen près de la Saale.*

La masse principale est de couleur grisâtre, d'une grande dureté et ténacité, renfermant des minerais diversement colorés. Le feldspath y est prédominant, et ses deux variétés, à base de potasse et de soude, s'y laissent distinguer facilement au premier aspect ; tandis que le feldspath potassique y possède sa couleur rougeâtre, son éclat et sa structure lamelleuse, le feldspath sodique, d'une couleur blanche et d'un aspect mat, se trouve tellement rongé et altéré qu'il présente rarement sur sa cassure les stries caractéristiques de l'albite ; le quartz se présente en grains brillants, quelquefois cristallins ; les points noirs sont dus, soit à un minerai micacé, soit à du spath-fluor qui se montre assez souvent en grains cristallins de couleur verte ou bleu-violet.

La densité à 19° = 2,643.

Composition.

Orthoklase,	17,10	61,01
Albite,	43,91	
Silice en excès,	30,00	
Alumine, oxide ferrique, chaux, etc.,	7,10	
	98,11	

Malgré sa dureté et sa ténacité, ce porphyre a beaucoup de tendance à s'altérer ; la masse blanchit peu à peu, le feldspath perd son éclat et sa cohésion, et le tout se convertit finalement en une substance partie sablonneuse, partie analogue au kaolin.

b. *Porphyre rouge du Tanzberg, près Diemitz.*

Il est rougeâtre, sans mélange d'autres couleurs ; le quartz est assez fréquent en grains arrondis ou en formes dihexaédriques ; les

Digitized by Google

feuillets micacés sont rares, et le spath-fluor manque entièrement. Ce porphyre s'altère assez lentement; on n'aperçoit pas dans les environs des dépôts de kaolin : seulement, le feldspath blanchit et se convertit, en conservant sa forme, en une substance tendre, onctueuse au toucher, qui tranche sur le reste de la masse non altérée. La densité = 2,594.

Composition.

Orthoklase,	25,03	=57,75
Albite,	32,72	
Silice en excès,	36,59	
Oxide de fer, chaux, etc.,	3,88	
	98,22	

c. *Porphyre blanc de Sandfelsen.*

Ce porphyre se trouve dans le voisinage de celui du numéro a, et en provient probablement par un commencement de décomposition.

La coloration rouge et grise a disparu entièrement par l'action de l'air, du soleil et de l'humidité; la structure est devenue schisteuse, et entre les plaques se trouve une substance terreuse semblable au kaolin. Le feldspath est également devenu incolore; sa structure est encore lamelleuse, mais l'état nacré de la cassure principale n'est plus que très faible.

Les grains de quartz s'y présentent plus distinctement, tandis qu'on ne trouve plus trace de mica ni de spath-fluor.

La densité = 2,596.

Composition.

Orthoklase,	14,72	=60,86
Albite,	46,14	
Silice en excès,	34,74	
Alumine, oxide ferrique,	4,03	
	99,63	

d. *Porphyre jaunâtre du Sandfelsen.*

Cette variété, semblable sous tous les rapports à la variété précédente, se trouve dans la même localité dans le voisinage du chromocker (ocre chromifère). Sa densité = 2,591.

Digitized by Google

Composition.

Orthoklase,	19,07	=53,50
Albite,	34,43	
Silice en excès,	40,24	
Alumine, oxide ferrique,	4,04	
	97,78	

M. Wolff considère donc le porphyre de Halle (d'après ses analyses, et d'après la manière d'en classer les résultats) comme formé principalement de feldspaths de potasse et de soude, agglomérés au moyen d'une masse liante, constituée presque uniquement par de la silice plus ou moins colorée par de petites quantités de fer, de manganèse, d'alumine, etc.

Par la décomposition lente du feldspath, le porphyre se transforme en une substance terreuse; la masse fondamentale liante n'éprouve dans ce cas qu'une altération mécanique et pas de transformation chimique (excepté la décoloration). Le feldspath seul constitue par son altération une nouvelle combinaison chimique, le kaolin, qui reste mélangé avec la masse fondamentale, et qui peut en être séparé par l'acide sulfurique (Voyez plus bas les recherches sur le knollenstein).

En comparant les densités des différentes espèces de porphyre, on ne remarque une différence sensible que pour la première espèce; l'augmentation de densité y dépend moins de la quantité prépondérante de feldspath que plutôt d'une diminution de la silice (5 à 6 p. c.), qui, elle-même, correspond à la présence, facile à remarquer à l'œil nu, de plusieurs minéraux accidentels, tels que mica, spath-fluor, fer oligiste, etc.

Les parties constituantes principales du porphyre, le feldspath et la masse siliceuse, ne paraissent pas différer sensiblement par rapport à leur densité, ainsi que cela résulte des poids spécifiques de différentes variétés de knollenstein. On peut donc considérer le nombre 2,594 comme représentant la densité moyenne du porphyre rouge ancien de Halle. A la vérité, la densité augmente très légèrement avec la proportion de feldspath.

D'après une analyse de M. Schweitzer (*Journ. f. prakt. Chem.*, t. XII, p. 155), le porphyre rouge de Kreutznauh a la même composition que celui de Halle. En effet, il trouva :

Digitized by Google

		Oxigène.
Silice,	70,50	36,63
Alumine,	13,50	6,30
Oxide de fer,	5,50	
Chaux,	0,25	
Magnésie,	0,40	
Potasse,	5,50	0,94
Soude,	3,55	0,91
Chlore,	0,10	
Eau,	0,77	
	100,07	

En calculant ces résultats d'après les proportions d'alcali trouvées, on obtient :

Orthoklase,	33,25	=63,65
Albite,	30,40	
Silice en excès,	27,27	
Alumine, fer, chaux, magnésie, chlorate,	8,38	

II. *Chromocker de Sandfelsen.*

Le chromocker ne se rencontre que sur un petit espace de quelques pieds de largeur, sur le versant rapide de Sandfelsen, vers la Saale. On y rencontre un porphyre altéré de couleur grisâtre ou bleuâtre, qui renferme le chromocker, soit comme léger dépôt entre les surfaces schisteuses, soit comme filons minces traversant la roche encore plus ou moins compacte.

Le chromocker possède une couleur verte qui, surtout par le temps humide, présente une belle teinte bleu verdâtre.

Il se détache facilement de la roche, et présente quelquefois une structure lamelleuse et onctueuse; mais la plupart du temps, surtout à l'état sec, il a une cassure terreuse. En le cassant, on y remarque, outre des grains de quartz, une substance blanche qui, abstraction faite de la couleur, présente les mêmes caractères physiques que le chromocker, mais en même temps aussi ceux du porphyre altéré, et qui, dans le contour extérieur, laisse souvent reconnaître la forme primitive des cristaux de feldspath. La roche entière a l'aspect d'un porphyre décomposé, parsemé d'une manière plus ou moins régulière d'une substance chromifère plus ou moins analogue au kaolin.

Digitized by Google

Le chromocker, desséché à l'air, perd, par l'exposition dans le vide au-dessus de l'acide sulfurique, ou par une chaleur de 100° — 120°, un tiers de l'eau qu'il contient, ou à peu près 3 p. c. La densité du minerai primitif = 2,571; celle du minerai séché à 100° = 2,701 — 2,695 à 19°.

En le traitant par l'acide sulfurique concentré à chaud, et puis par l'acide chlorhydrique, et enfin par une solution bouillante de carbonate de soude, il reste toujours un résidu assez considérable formé de :

Silice,	94,16
Alumine, oxide de fer, oxide de chrome,	4,49
	98,65 p. c.

L'analyse du chromocker fournit les résultats suivants :

	1.	2.
Silice,	34,22	33,96
Alumine,	23,61	22,27
Oxide de fer,	5,15	2,45
Oxide de chrome,		3,31
Potasse,	2,88	2,96
Soude,	0,35	
Eau,	8,91	9,56
Résidu non attaqué,	25,55	26,42
	100,12	100,93

En calculant la composition en centièmes, en faisant abstraction du résidu non attaqué, on trouve pour la moyenne des deux analyses :

		Oxigène.		
Silice,	46,11	23,96		= 4×5,79
Alumine,	30,53	14,26		
Oxide ferrique,	3,15	0,97	16,50	= 3×5,50
Oxide chromique,	4,28	1,27		
Potasse,	3,44	0,59		
Soude,	0,46	0,11		
Eau,	12,52	11,13		= 2×5,56
	100,49			

Digitized by Google

Cette composition correspond à la formule établie par M. Forchhammer pour la composition des kaolins :

$$\dddot{Al}^3\,\dddot{Si}^4 + 6\,aq.$$

La formule du minerai desséché à 100-110° est donc :

$$\dddot{Al}^3\,\dddot{Si}^4 + 4\,aq.$$

Cependant la manière dont le chromocker se comporte sous l'influence de la chaleur et la proportion assez notable d'alcali rendent une formule aussi simple un peu incertaine.

On peut se demander si les oxides de chrome et de fer (Fe^2O^3), isomorphes avec l'alumine, peuvent former avec le silice un minerai de l'espèce des kaolins, ou bien si ces oxides ne constituent pas avec les alcalis et une partie de la silice une combinaison particulière, mélangée seulement mécaniquement au kaolin. L'analyse de M. Duflos (*Schweigger-Seidel journ.*, LXIV, 1832, p. 249-252) coïncide assez bien avec celle qui vient d'être relatée, en en retranchant les grains de quartz et de roche qui y figurent comme silice.

III. *Knollenstein.*

M. F. Hoffmann, dans son Aperçu sur la constitution orographique et géognostique de l'Allemagne occidentale et septentrionale, caractérise ainsi cette roche :

On comprend sous le nom de knollenstein un fossile intermédiaire entre le quartz (hornstein) et le feldspath compacte rapproché du premier par sa dureté, du dernier par son aspect extérieur. La masse homogène et compacte, d'une couleur claire, se distingue par une surface noduleuse, comme fondue, et renferme une foule de petits grains arrondis de quartz. Dans certaines parties, on remarque une porosité particulière, résultant en partie du feldspath altéré, dont la décomposition au centre de cette masse compacte et tenace semble très extraordinaire. Jamais cette roche ne renferme du feldspath non altéré; quelquefois ses contours sont encore très nets, mais plus souvent ils sont raboteux et si irréguliers, qu'on ne peut s'empêcher de penser qu'ils ont été attaqués et détruits par quelque agent destructeur puissant. C'est sous cet aspect que le knollenstein se trouve au Weinberg (mont des Vignes), immédiatement au-dessous du Galgberg, près Halle, formant une crête inégale, abrupte, qui se rattache au porphyre ancien. Cette

Digitized by Google

crête traverse les porphyres de cette contrée, et s'élève de nouveau avec des parois taillées à pic du sommet du Reilsberg. Là, son aspect altéré a tellement augmenté, que quelques parties se rapprochent presque des roches, ayant l'aspect de scories, et c'est là aussi que le knollenstein se trouve en union intime avec le porphyre récent.

Le knollenstein a également été trouvé dans le porphyre ancien, près Brachwitz, où il remplit une crevasse à parois presque perpendiculaires, et allant du nord au sud. La majeure partie du knollenstein s'est transformée en quartz grenu et cristallin, qui se présente à l'état de sable, et dans lequel se trouvent des blocs informes de roche moins altérée. Plusieurs de ces blocs sont tellement rongés et corrodés qu'ils se sont transformés en masses écumeuses, poreuses, qu'on confond presque avec de véritables scories; ils en diffèrent cependant essentiellement en ce que les cavités n'ont jamais une forme arrondie.

Les parois de ces cavités sont tapissées d'oxide brun de manganèse (manganite, psilomelan?), de fer oligiste en écailles, et souvent de kaolin; les cavités elles-mêmes rappellent encore la forme des cristaux de feldspath, et quelquefois même leur structure lamelleuse. La roche porphyrotique elle-même dans le voisinage de cette crevasse se trouve très altérée; d'après toutes ces circonstances, il semble le plus rationnel d'admettre que ces altérations profondes ont été occasionnées par des vapeurs acides et corrosives.

1. *Knollenstein du sommet du Galgberg.*

Masse compacte, tenace, blanche, d'une cassure rude et inégale, présentant une foule de petits grains brillants de quartz qui tranchent sur le fond mat de la masse principale.

Elle se laisse facilement réduire en poudre fine, et se trouve par conséquent déjà dans un état de désagrégation mécanique assez avancé.

En effet, le knollenstein pur altéré constitue une masse diversement colorée, tenace, à cassure écailleuse, à éclat légèrement vitreux, qui passe peu à peu, sous l'influence des agents atmosphériques, sans changer de composition, à l'état d'une substance grise ou d'un blanc jaunâtre, d'une cassure mate, rude et même terreuse, peu tenace et quelquefois très friable.

Sa densité = 2,602 à 12° c.

Digitized by Google

Composition.

Silice,	99,11
Alumine, oxide de fer,	0,59
Perte par calcination,	0,24
	99,94

2. *Knollenstein du Weinberg.*

Très dur et tenace, à cassure écailleuse comme une pierre à fusil; l'intérieur est coloré en couleur de chair par la présence d'oxide de manganèse et de fer; la coloration a disparu à la surface.

La roche contient beaucoup de grains de quartz grenu et brillant, mais pas trace de feldspath, dont la présence antérieure n'est indiquée que par les cavités existantes. Densité = 2,616.

Composition

Silice,	99,03
Alumine, oxide de fer,	0,67
Oxide de manganèse,	0,52
Perte par calcination,	0,19
	100,41

3. *Knollenstein des hauteurs entre Giebichenstein et Trotha.*

Rouge-blanchâtre, sans grains distincts de quartz, poreux, à cassure rude et grenue. Densité = 2,598.

Composition.

Silice,	97,01
Alumine, oxide de fer,	1,27
Perte par calcination,	0,26
	98,54

4. *Knollenstein du Weinberg.*

Brun-rougeâtre, très tenace, cassure nette à bords tranchants, très poreux; les cavités ont conservé exactement la forme des cristaux de feldspath, et renferment quelquefois encore un peu de masse feldspathique altérée. Densité = 2,594.

Digitized by Google

Composition.

Silice,	98,01
Alumine, oxide de fer.	1,04
Oxide de manganèse, magnésie,	0,97
Perte par calcination,	0,51
	100,53

5. *Pierre à chaussée n° 1, probablement de Trotha.*

Cette pierre, qui sert à recouvrir la chaussée de Magdebourg, est grisâtre, très dense et très tenace, d'une cassure inégale, presque conchoïde, et parsemée de petits grains cristallins de quartz.

Exposée à l'air, cette pierre blanchit, perd sa ténacité, devient facilement friable et se transforme dans la pierre à chaussée n° 2.

La densité = 2,642 à 12° c.

Composition.

Silice,	99,02
Alumine, oxide de fer,	1,16
Perte par calcination,	0,24
	100,42

6. *Pierre à chaussée n° 2.*

Composition.

Silice,	98,14
Alumine,	1,63
Perte par calcination,	0,18
	99,95

En considérant les densités des quatre premières variétés, on voit qu'elles diffèrent très peu, et leur moyenne 2,603 peut être envisagée comme exprimant la densité de la masse non altérée du knollenstein.

Il résulte de ce qui précède que le knollenstein remplit des crevasses et des cavités, tant dans le porphyre ancien que dans le porphyre récent, et paraît par conséquent être d'une origine plus récente que ces deux roches, qui sont si distinctes dans les environs de Halle.

Digitized by Google

Ils proviennent d'ailleurs du même foyer volcanique : seulement, es éruptions ont eu lieu à des époques différentes.

Les parties constituantes principales, la silice et le feldspath, sont les mêmes pour les trois roches, et elles ne diffèrent que par leurs quantités relatives.

Le mélange de silice, d'alumine et d'alcali doit devenir d'autant plus fusible et plus liquide que la proportion d'alcali augmente.

Le *porphyre ancien*, qui constitue la formation principale du porphyre de Halle, est très riche en alcali.

Dans la masse primitive fondue et assez fluide, la substance du feldspath a pu se rassembler très rapidement et constituer ainsi des cristaux volumineux et bien développés; mais par cette élimination de feldspath, la masse fondamentale devint immédiatement plus visqueuse, et enveloppa la substance de feldspath qui n'avait pas encore pu se réunir en cristaux volumineux ; le tout, en se solidifiant, présenta un mélange de feldspath bien cristallisé et de masse principale siliceuse, renfermant pour ainsi dire comme une eau-mère, d'une manière mécanique, et non en combinaison chimique, une autre partie de la substance feldspathique. En effet, il semble très naturel que, dans un mélange fondu de silice, alumine, oxide de fer et alcali, soumis à un refroidissement lent et graduel, tout l'alcali se combine aussi longtemps qu'il y a de l'alumine en présence, avec celle-ci et la silice, pour constituer le feldspath ou quelquefois le mica. Or, lorsque, comme cela a lieu pour le porphyre rouge, il y a assez d'alumine pour saturer tout l'alcali, aucune trace de celui-ci ne se combinera à la masse fondamentale, qui sera formée uniquement par la silice en excès, rendue impure par une petite quantité d'alumine, d'oxide de fer et de manganèse, etc., qui n'ont plus trouvé les éléments nécessaires pour constituer des combinaisons chimiques définies et cristallines.

L'altération du porphyre est surtout provoquée par la décomposition du feldspath disséminé dans toute la masse, qui produit une désagrégation complète de la masse siliceuse fondamentale. Celle-ci se réduit en une poussière fine qui reste mélangée mécaniquement avec les produits de la décomposition du feldspath, et les deux constituent dans cet état la terre à porcelaine ordinaire.

Le nom usité de porphyre alumineux (thonstein-porphyr) n'est donc qu'une expression empirique, à laquelle on ne doit pas rattacher l'idée d'une masse fondamentale alumineuse ou même feldspathique. L'alcali est véritablement l'élément cristallisateur d'une masse pierreuse fondue ; c'est ce qui se remarque surtout dans ce granite, dans lequel le feldspath et le mica se sont séparés en cris-

Digitized by Google

taux bien développés, tandis que la silice en excès constitue la masse fondamentale et liante, qui, à la vérité, est ordinairement moins impure que dans le porphyre.

Le *porphyre récent* de Halle se distingue du porphyre ancien par la présence d'une plus grande quantité d'oxide de fer et par un grain plus petit; les cristaux de feldspath sont plus petits et moins bien développés.

La masse fondue, probablement assez liquide, s'est élevée par des crevasses et des ouvertures existantes dans le porphyre ancien déjà solidifié, et s'est répandue comme une lave sur la surface de celui-ci. La grande étendue de surface présentée à l'air atmosphérique fut la cause d'un refroidissement plus rapide, et la solidification eut lieu avant que des cristaux gros et volumineux eussent pu se rassembler.

Le knollenstein enfin paraît d'origine plus récente que les deux porphyres.

Chez lui, la masse siliceuse est très prépondérante sur la substance feldspathique. Ce manque d'alcali a dû rendre la matière primitive fondue extrêmement visqueuse, malgré sa haute température. Cette dernière a pu se conserver très longtemps, la matière fondue n'ayant servi qu'à remplir des crevasses dans une roche peut-être pas encore complétement refroidie. Cette circonstance a permis à la substance cristallisable du feldspath de se rassembler presque complétement en parties plus ou moins grandes; mais les cristaux n'ont pu être qu'irréguliers et déformés, à cause de la viscosité de la masse dans laquelle ils se formaient.

Plus tard, soit sous l'influence de vapeurs acides, soit par l'action atmosphérique, le feldspath s'est altéré entièrement, et a même disparu jusqu'à une profondeur considérable sans laisser d'autre trace que les trous et cavités très distincts qu'il avait remplis à l'état cristallisé.

IV. *Feldspath décomposé du Knollenstein.*

On sait que le feldspath complétement altéré constitue une nouvelle combinaison chimique, le kaolin, qui reste toujours mélangé mécaniquement à une certaine quantité de quartz ou de roche non altérée. Ce n'est que depuis que l'on a commencé à exécuter d'une manière rationnelle l'analyse de la terre à porcelaine, en séparant le kaolin des matières étrangères avec lesquelles il se trouve mélangé, qu'on est parvenu à avoir quelques notions certaines sur la nature et la composition de ce fossile. C'est M. Forchhammer qui, en 1835,

Digitized by Google

après une série d'analyses, établit le premier pour le kaolin la formule générale :

$$\dddot{Al}^3\dddot{Si}^4 + 6\,aq.$$

[*Note.* On doit également à M. Berthier de belles recherches sur ce sujet.]

Récemment MM. Brongniart et Malaguti ont communiqué un travail important sur cette matière, dans lequel ils adoptent pour les kaolins la formule plus simple :

$$\dddot{Al}\,\dddot{Si} + 1\,1/2\,aq.\ \text{ou}\ 2\dddot{Al}\,\dddot{Si} + 3\,aq.$$

Ils ont montré que la plupart des variétés de la terre à porcelaine contiennent à l'état de mélange une certaine quantité de silice, éliminée chimiquement des éléments de feldspath, et qu'on peut séparer par une solution étendue de potasse caustique de la combinaison qui constitue le kaolin.

D'après cela, le feldspath en se décomposant se transformerait d'abord en kaolin et en silicate alcalin.

$$\left.\begin{matrix}\dot{K}\\ \dot{Na}\end{matrix}\right\}\dddot{Si} + \dddot{Al}\,\dddot{Si}^3 = \left\{\begin{matrix}\dddot{Al}\,\dddot{Si} & \text{(kaolin.)}\\ \left.\begin{matrix}\dot{K}\\ \dot{Na}\end{matrix}\right\}\dddot{Si}^8 & \text{(silicate alcalin.)}\end{matrix}\right.$$

Mais trois atomes de ce dernier égalant :

$$\left.\begin{matrix}\dot{K}^3\\ \dot{Na}^3\end{matrix}\right\}\dddot{Si}^9$$

se décomposeraient de nouveau en une combinaison plus basique soluble dans l'eau :

$$\left.\begin{matrix}\dot{K}^3\\ \dot{Na}^3\end{matrix}\right\}\dddot{Si}^8,$$

tandis que 1 at. de silice éliminé resterait mélangé avec le kaolin, et c'est cette silice qui a la propriété de se dissoudre dans une lessive alcaline caustique.

Le knollenstein se prête admirablement pour vérifier cette théorie de MM. Brongniart et Malaguti.

Digitized by Google

En effet, le feldspath de cette roche se trouve constamment à l'état de désagrégation complète; il se laisse extraire avec la plus grande facilité en parties agglomérées plus ou moins considérables, et enfin la masse du knollenstein, consistant en silice presque pure, tout-à-fait inattaquable par l'acide sulfurique, son mélange avec le feldspath décomposé ne peut point exercer d'influence sur l'analyse. La densité moyenne du kaolin fut trouvée = 2,592 à l'état de poudre fine, et = 2,601 en petits morceaux.

Dans sept analyses effectuées sur des échantillons différents, l'oxigène de l'eau était à celui de la silice dans les rapports de :

1 : 1,7 : 1,9 : 1,9 : 2,0 : 2,1 : 2,1 : 1,9;

en moyenne :

= 1 : 1,94 ou presque comme 1 : 2.

Mais quant au rapport de l'oxigène de l'alumine à celui de la silice, il fut trouvé généralement = 1 : 1 plus une fraction, de manière que les substances analysées contenaient à peu près 4 p. c. de silice en plus que ne l'exigerait la théorie.

En outre, on rencontra encore de très petites quantités de chaux et d'alcali. Cet excès de silice parlait beaucoup en faveur de l'hypothèse de MM. Brongniart et Malaguti; il s'agissait seulement de voir si cette silice, supposée mélangée mécaniquement au kaolin, était en effet soluble dans une solution d'alcali caustique. Or, c'est ce qui n'eut pas lieu : une solution faible de potasse caustique bouillante ne put dissoudre que 1,24 p. c. de substance, qui, examinée, fut trouvée composée de 0,63 p. c. de silice et 0,55 p. c. d'alumine, et qui provenait évidemment d'un peu de kaolin, attaqué et dissous par la lessive alcaline. La silice excédante était donc combinée, soit à de l'alcali, soit à une partie d'alumine, de telle manière qu'elle était inattaquable par l'eau et la solution alcaline, mais attaquable par l'acide sulfurique concentré et bouillant. Cependant, en somme, les analyses s'accordèrent (en négligeant le petit excès de silice) le mieux avec la formule déjà citée pour le kaolin.

$$\dddot{Si}^2\dddot{Al}^2 + 3aq.,$$

ou bien :

$$\dddot{Si}^4\dddot{Al}^4 + 6\,aq.$$

Digitized by Google

V. *Terre à porcelaine du Schneeberg* (Alle).

Cette terre à porcelaine fournit à l'analyse les données suivantes :

	1.	Oxigène.	2.	Oxigène.
Silice,	48,49	25,18	49,67	25,80
Alumine,	37,88	17,69	36,48	17,03
Carbonate de chaux,	0,18			
Oxide de fer,	Traces.		1,28	0,37
Eau,	13,58	11,07	13,02	11,57
Potasse,	Traces.		Traces.	

La seconde analyse est de M. Hochstetter.

Ces nombres correspondent à la formule :

$$\dddot{Si}^4\dddot{Al}^3 + 6\,aq.$$

ou mieux encore avec :

$$\dddot{Si}^3\dddot{Al}^2 + 4\,aq.$$

En traitant cette terre à porcelaine par une solution de potasse caustique, elle perdit 2,45 p. c. de substance composée de 1,16 p. c. de silice et 1,06 p. c. d'alumine; une ébullition prolongée avec une lessive plus concentrée produisit la dissolution de 0,854 gr. de substance sur 4,081 de matière; mais la partie dissoute n'était évidemment que du kaolin attaqué, étant composée sur 100 parties de 53,75 p. c. de silice et 47,42 p. c. d'alumine.

Il en résulte que cette terre à porcelaine ne contient point de la silice séparée chimiquement et soluble dans une lessive alcaline faible, et ne rentre par conséquent pas dans la loi de MM. Brongniart et Malaguti sur les kaolins.

Il faudra donc de nouvelles recherches pour expliquer les causes de ces anomalies et de ces différences, qui se rencontrent également dans d'autres analyses de terres à porcelaine.

Digitized by Google

Sur la composition chimique des pouzzolanes et des bombes volcaniques, par Elsner.

(Journ. f. prakt. Chem., 1845, numéro 3.)

Les analyses ont montré que les pouzzolanes sont composées d'un mélange de silicates, dont les uns sont attaquables par l'acide chlorhydrique, et les autres inattaquables par cet acide.

1. *Pouzzolane du Vésuve.*

Partie soluble dans l'eau. Chlorure sodique 2,56 p. c.

Par la digestion avec l'acide chlorhydrique et en traitant le résidu par une solution de carbonate sodique, on put attaquer 27,416 p. c. composés de :

Silice,	10,248
Oxide ferrique,	4,760
Alumine,	9,008
Chaux,	1,900
Potasse,	1,500

La partie inattaquable par l'acide 70,272 p. c. contenait :

Silice,	48,896
Alumine,	12,272
Potasse,	2,872
Soude.	6,232

Cette dernière partie a donc une composition analogue à celle du périkline (albite).

M. Abich (*Poggend. Ann.*, L, 341) avait déjà fait remarquer que la partie non attaquable par les acides du trachyte du Drachenfels avait la composition de l'albite.

La pouzzolane du Vésuve contient donc :

Silice,	59,144
Alumine,	21,280
Oxide ferrique,	4,760
Chaux,	1,900
Potasse,	4,372
Soude,	6.232
Sel marin,	2,560
	100,248

Digitized by Google

2. *Pouzzolane du Vésuve.*

Soluble dans l'eau. Chlorure sodique 3,250 p. c.

Partie attaquable par l'acide chlorhydrique 20,465 p. c., composée de :

Silice,	10,250
Alumine,	2,565
Oxide ferrique,	4,565
Chaux,	1,585
Potasse,	1,500

Partie inattaquable par l'acide 76,012 p. c., composée de :

Silice,	49,564
Alumine,	13,790
Potasse,	12,658

Cette dernière partie présente la composition du feldspath.

La pouzzolane diffère du trass en ce qu'elle contient bien plus de matière inattaquable par les acides que cette dernière; mais ces deux matières se ressemblent en ce point, que la partie attaquable par les acides est bien moins riche en silice que la partie inattaquable.

Ces analyses montrent également la grande analogie chimique qui existe entre les trass et pouzzolanes et les cendres volcaniques et laves, analysées par M. Dufresnoy (*Annales des mines*, t. XIII, p. 565).

L'analyse d'une bombe volcanique lancée par le Vésuve offrit ce résultat intéressant, qu'elle était presque entièrement attaquable par l'acide chlorhydrique, et qu'elle contenait, comme les pouzzolanes, du sel marin.

La partie inattaquable par l'acide consistait en une poudre noirâtre, composée de vésuvienne, de mica vert et de feldspath.

100 parties contenaient :

Digitized by Google

Eau,	0,3125	
Sel marin,	0,6025	
Silice,	42,750	
Alumine,	11,000	
Oxides ferreux, ferrique,	19,500	Partie attaquable par l'acide chlorhydrique, 90,718.
Chaux,	7,951	
Potasse,	4,650	
Soude,	4,867	
Partie inattaquable par l'acide,	6,375	
	99,008	

L'analyse chimique, dans la composition du trass, des pouzzolanes, des cendres volcaniques, des basaltes, de la pierre ponce, des laves, des schistes alumineux, des scories des hauts-fourneaux, des terres glaises calcinées, des poteries cuites, des charmottes, explique l'emploi de ces corps si variés dans la fabrication du mortier hydraulique. Dans toutes ces matières, la silice, par suite de l'influence d'une température élevée, se trouve dans un état favorable à sa combinaison avec la chaux, et devient ainsi propre à la fabrication de mortiers durcissant sous l'eau.

Composition d'un miroir métallique de Chine, par Elsner.

(Erdm. Journ. f. prakt. Chem., 1845, numéro 8.)

Ce miroir, d'un poli parfait, extrêmement net, et qui ne s'altérait que très peu au contact de l'air, était composé de :

	1.	2.
Cuivre,	80,823	80,850
Plomb,	9,389	10,038
Antimoine,	8,431	8,430
	98,643	99,318

Il contenait en outre une trace de fer, mais point d'arsenic.

Il semble probable que, dans la fabrication de cet alliage, on avait employé parties égales de plomb et d'antimoine, mais que,

Digitized by Google

par la fusion, une portion de l'antimoine s'était volatilisé probablement à l'état d'oxide d'antimoine.

Composition des sables employés pour la fabrication des moules dans les fonderies, par Kampmann.

Les sables analysés étaient :
1° Sable de la fonderie de M. Freund à Charlottenbourg ;
2° Sable employé à Paris pour les bronzes ;
3° Sable de Manchester ;
4° Sable de l'usine de Layna, près Stromberg.
L'analyse donna les résultats suivants :

	1.	2.	3.	4.
Silice,	92,083	91,907	92,913	90,625
Oxide de fer,	2,498	2,177	1,249	2,708
Alumine,	5,415	5,683	5,830	6,667
Chaux,	Traces.	0,415	Traces.	Traces.

L'analogie de composition de ces divers sables est très remarquable ; on peut préparer artificiellement un bon sable pour formes et moules en mélangeant :

93 de sable fin quartzeux,
2 ocre rouge d'Angleterre,
5 terre alumineuse la moins calcaire possible.

Analyse de plusieurs bronzes de machines, par Schmidt.

(Journ. f. prakt. Chem., 1845, numéro 8.)

Ces bronzes avaient acquis une réputation méritée par la manière dont ils répondaient aux usages auxquels ils avaient été destinés, et par la longue durée de leur service.

1° Métal des coussinets sur lesquels reposaient les axes d'une locomotive anglaise ;
2° Métal des coussinets de leviers pour les mouvements des tiroirs d'une locomotive belge ;
3° Métal des coussinets pour les axes d'une locomotive ;
4° Id.
5° Métal pour les régulateurs d'une locomotive belge ;

Digitized by Google

6° Métal pour la boîte à étoupe de la tige du piston;
7° Métal pour piston d'une locomotive de Seraing.

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
Étain,	9,45	12,75	2,44	13,97	12,38	3,57	2,40
Cuivre,	73,61	85,25	89,03	86,03	86,82	90,24	89,04
Zinc,	9,00	2,03	7,82			6,38	9,02
Fer,	0,42		0,79		Traces.	Traces.	
Plomb,	7,05						
	99,53	100,03	100,08	100,00	99,20	100,19	100,46

CHIMIE VÉGÉTALE ET ORGANIQUE.

Sur les anilides, nouvelle classe de composés organiques, par Gerhardt.

(Comptes-rendus de l'Institut, 1845, numéro 14.)

Déjà, en 1839, M. Gerhardt avait énoncé sa loi des résidus pour les substitutions d'un corps composé à un corps simple, en disant que la réaction s'établissait toujours de telle sorte qu'un élément (hydrogène) de l'un des corps s'unissait à un élément (oxigène) de l'autre corps pour former un produit (eau) qui s'éliminait, tandis que les éléments restants demeuraient en combinaison.

En l'appliquant à l'ammoniaque, cette loi explique parfaitement pourquoi le chlore et, par conséquent, l'hydrogène pouvaient être remplacés par NH^2 et l'oxigène par NH. En effet, l'ammoniaque, en qualité de corps hydrogéné, sollicite l'oxigène ou le chlore (brome, iode) des matières organiques pour former, soit H^2O, soit HCl qui s'élimine : le résidu des éléments de l'ammoniaque qui demeure alors en combinaison avec le résidu des éléments de la matière organique est donc NH ou NH^2, suivant que l'élimination avait été H^2O ou HCl.

Il en résulte aussi que les cas du résidu NH (imide) sont bien plus nombreux que ceux du résidu NH^2 (amide). — (Ce dernier ne se rencontre que très rarement, par exemple dans la benzamide par le chlorure de benzoïle, l'urétane et l'uréthylane par l'éther chloroxicarbonique.)

L'oxamide qui a servi à établir l'ancienne théorie des acides ne renferme pas l'amide NH^2, mais bien l'imide NH.

En effet, soit $C^2H^2O^3$ 1 éq. d'acide oxalique, et soit Am le résidu NH, on a

Digitized by Google

Formation de l'oxamide.

$$C^2H^2O^4 + 2(H^2Am) = 2(H^2O) + C^2H^2O^2Am^2.$$

Formation de l'acide oxamique.

$$C^2H^2O^4 + H^2Am = H^2O + C^2H^2O^3Am.$$

[*Note.* Les équivalents employés sont ceux de M. Gerhardt H^2O —K^2O—HCl—ClK—CO^2—(KHO), etc.]

D'après cette manière de formuler, l'oxamide est donc de l'acide oxalique dans lequel O^2 est remplacé par le résidu Am^2; de même, l'acide oxamique est de l'acide oxalique dans lequel un seul O est remplacé par le résidu Am.

Acide oxalique,	$C^2H^2O^4$
Oxalates neutres,	$C^2M^2O^4$
Oxalates acides,	$C^2 \left\{ \begin{matrix} M \\ H \end{matrix} \right\} O^4$
Oxamide,	$C^2H^2 \left\{ \begin{matrix} O^2 \\ Am^2 \end{matrix} \right\}$
Ac. oxamique,	$C^2H^2 \left\{ \begin{matrix} O^3 \\ Am \end{matrix} \right\}$
Oxamates,	$C^2 \left\{ \begin{matrix} H \\ M \end{matrix} \right\} \left\{ \begin{matrix} O^3 \\ Am \end{matrix} \right\}$

[*Note.* M. Voelkel a montré (à moins que ses résultats ne soient contredits) que, dans l'oxamide, H pouvait être remplacé par Pb; on a donc le composé :

$$C^2 \left\{ \begin{matrix} H \\ PB \end{matrix} \right\} \left(\begin{matrix} O^2 \\ Am^2 \end{matrix} \right)$$

ou en général :

$$C^2 \left\{ \begin{matrix} H \\ M \end{matrix} \right\} \left\{ \begin{matrix} O^2 \\ Am^2 \end{matrix} \right\}]$$

Si, dans les circonstances convenables, on ramène aux composés formés par la réunion de pareils résidus, les éléments qui avaient été éliminés lors de la réaction, on régénère les composés primitifs. L'alcool et ses homologues se comportent comme l'ammoniaque; les éthers neutres correspondent aux acides neutres; les acides vi-

Digitized by Google

niques aux acides amidés. On a donc, en représentant par E le résidu de l'alcool $C^2H^6O \rightarrow H^2 = E$:

Éther oxalique,	$C^2H^2 \left\{ \begin{matrix} O^2 \\ E^2 \end{matrix} \right.$
Acide oxalovinique,	$C^2H^2 \left\{ \begin{matrix} O^3 \\ E \end{matrix} \right.$
Oxalovénates,	$C^2 \left(\begin{matrix} H \\ M \end{matrix} \right) \left(\begin{matrix} O^3 \\ E \end{matrix} \right)$
Oxaméthane,	$C^2H^2 \left\{ \begin{matrix} O^2 \\ Am \\ E \end{matrix} \right.$

L'oxaméthane renferme à la fois les 3 résidus :

1° De l'acide oxalique,

2° De l'ammoniaque,

3° De l'alcool.

C'est l'oxamate éthylique, ou éther oxamique, ou amide oxalovinique.

En remplaçant dans ces réactions l'ammoniaque H^3N par une base organique, l'aniline C^6H^7N, M. Gerhardt a obtenu une nouvelle classe de composés qu'il a nommés anilides.

Décomposition de l'oxalate d'aniline par la chaleur.

En chauffant l'oxalate d'aniline à quelques degrés au-dessus de 100°, il fond et entre en ébullition en dégageant de l'eau, de l'acide carbonique et de l'aniline ; ce n'est que vers la fin, quand la chaleur atteint 160 à 180°, qu'on obtient également un peu d'oxide de carbone.

On a alors un résidu liquide, limpide, plus ou moins rougeâtre, qui, par le refroidissement, se concrète en une masse butyreuse renfermant de beaux cristaux : c'est un mélange d'oxanilide et de formanilide.

Oxanilide.

$C^{14}H^{12}N^2O^2$.

Pour l'isoler, on épuise le résidu par l'alcool froid, qui dissout le formanilide et laisse l'oxanilide à l'état de paillettes nacrées, blanches, qui fondent à 245° et distillent à 320°.

Elle se sublime déjà à une température inférieure en donnant de belles paillettes irisées ; sa vapeur est âcre comme celle de l'acide

Digitized by Google

benzoïque. Elle est insoluble dans l'eau, l'éther et l'alcool froid; l'alcool bouillant en dissout une petite quantité qui se dépose ensuite en paillettes micacées.

Les acides et alcalis étendus et bouillants ne l'attaquent pas; mais la potasse très concentrée et bouillante en dégage de l'aniline, et se convertit en oxalate.

L'oxanilide est de l'acide oxalique dont O^2 ont été enlevés par H^4 ou $2H^2$ enlevés de 2 d'aniline C^6H^7N.

$$C^2H^2O^4+2C^6H^7N=C^{14}H^{12}N^2O^2+H^4O^2.$$

En désignant le résidu ($C^6H^7N-H^2$) par $An=C^6H^5N$, l'oxanilide

$$=C^2H^2\left\{\begin{matrix}O^2\\An^2\end{matrix}\right.$$

En chauffant l'oxanilide avec de l'acide sulfurique concentré, il se dégage volumes égaux d'acide carbonique et d'oxide de carbone. En ajoutant une petite quantité d'eau au résidu, il se prend en une masse blanche cristalline, soluble dans une plus grande quantité d'eau. Cette matière prend, par l'acide chromique, une teinte foncée rouge de sang; elle paraît être la *sulfanilide* $C^6H^{12}N^2O^2S$.

$$C^2H^2\left(\begin{matrix}O^2\\An^2\end{matrix}\right)+SH^2O^4=H^2O+CO+CO^2+SH^2\left\{\begin{matrix}O^2\\An^2\end{matrix}\right)$$

Formanilide.

C^7H^7NO.

Sa solution dans l'alcool ayant été évaporée en partie, on y ajoute de l'eau qui en sépare quelques flocons bruns; la liqueur, filtrée et évaporée jusqu'à ce que des gouttelettes huileuses commencent à se montrer, donne, par le refroidissement, des prismes rectangulaires très aplatis et terminés en fer de lance ressemblant beaucoup à l'urée.

Ce corps est assez soluble dans l'eau, surtout à chaud, et mieux encore dans l'alcool; la solution aqueuse est neutre et a une saveur légèrement amère. Il fond à 46°; la matière fondue peut quelquefois rester liquide, même après refroidissement, ce qui arrive surtout sous l'eau. Il se volatilise déjà à 100°.

Les acides et alcalis étendus n'agissent qu'à la longue sur ce corps, mais la décomposition se fait plus rapidement par l'ébullition. Ils mettent en liberté de l'acide formique ou de l'aniline.

La formanilide, chauffée avec l'acide sulfurique concentré, dé-

Digitized by Google

gage de l'oxide de carbone pur et laisse la sulfanilide pour résidu.

$$CH^2O^2 + C^6H^7N = C^7H^7NO + H^2O.$$

Formanilide $= CH^2 \left\{ \begin{matrix} O \\ An \end{matrix} \right\}$

La formule suivante rend compte de tous les produits (acide carbonique, eau, aniline, oxide de carbone) qui accompagnent l'oxanilide et la formanilide dans la réaction qui leur donne naissance.

Oxalate d'aniline $= C^2H^2O^4 + 2(C^6H^7N) = C^{14}H^{16}N^2O^4$

$C^{14}H^{16}N^2O^4 = 2H^2O + C^{14}H^{12}N^2O^2$.

Oxanilide.

» $= H^2O + CO^2 + C^6H^7N + C^7H^7NO$.

Aniline. Formanilide.

Enfin :

$C^7H^7NO = CO + C^6H^7N$.

Formanilide. Aniline.

Benzanilide.

$C^{13}H^{11}NO$.

En désignant le résidu $NH^3—H$ par AmH (Am=NH), et en partant du chlorure de benzoïle, on a :

Chlorure de benzoïle $C^7 \left(\begin{matrix} H^5 \\ Cl \end{matrix} \right) O$.

Benzamide $C^7 \left(\begin{matrix} H^5 \\ AmH \end{matrix} \right) O = C^7 \left\{ \begin{matrix} H^5 \\ H \end{matrix} \right\} \begin{matrix} O \\ Am \end{matrix}$.

Mais, parce que Am peut remplacer O, on peut aussi faire rentrer la benzamide dans la série benzoïque.

Acide benzoïque	$C^7H^6O^2$
Éther benzoïque	$C^7H^6 \left\{ \begin{matrix} O \\ E \end{matrix} \right)$
Benzamide	$C^7H^6 \left\{ \begin{matrix} O \\ Am \end{matrix} \right)$

En effet, la benzamide peut aussi s'obtenir par l'éther benzoïque et l'ammoniaque.

L'homologue de la benzamide dans la série anilique se prépare facilement par le chlorure de benzoïle et l'aniline. Ces deux li-

Digitized by Google

quides secs en contact s'échauffent et se prennent en masse cristalline; on la lave d'abord à l'eau bouillante, qui extrait le chlorhydrate d'aniline, puis avec de l'eau légèrement alcaline pour enlever des traces d'acide benzoïque (que pouvait contenir le chlorure de benzoïle); enfin, on fait cristalliser dans l'alcool.

La benzanilide se présente en paillettes nacrées, inattaquables par les acides et alcalis bouillants lorsqu'ils sont étendus.

La potasse fondante en dégage de l'aniline et se convertit en benzoate.

$$C^{13}H^{11}NO=C^{7}(H^{5}Cl)O+C^{6}H^{7}N-HCl,$$

Ou bien on a, en employant la notation An :

$$C^{7}\left\{\begin{matrix}H^{5}\\AnH\end{matrix}\right)O=C^{7}H^{6}\left\{\begin{matrix}O\\An\end{matrix}\right)=\text{benzanilide.}$$

Sur l'amarine et quelques autres produits dérivés de l'essence d'amandes amères, par Laurent.

(Comptes-rendus mensuels, 1845, numéro 2.)

Pour préparer l'amarine, on fait dissoudre l'essence d'amandes amères dans l'alcool, et on y fait passer un courant de gaz ammoniac. On abandonne la solution saturée pendant vingt-quatre à quarante-huit heures. Elle se prend alors en une masse cristalline composée de grandes sphères radiées qui sont peut-être une combinaison d'ammoniaque et d'essence analogue à l'ammonialdéhyde (M. Laurent n'a pas réussi à les isoler et à les purifier). On fait bouillir le tout avec de l'eau pour chasser l'alcool, et on sature la liqueur chaude avec de l'acide chlorhydrique; il se dépose des matières huileuses mêlées quelquefois d'aiguilles d'acide benzimique. Ces aiguilles sont soyeuses, très fines, et d'un blanc parfait lorsqu'elles ont été purifiées.

Elles fondent par la chaleur, mais se décomposent lorsqu'on essaie de les distiller. La solution aqueuse contient l'hydrochlorate d'amarine; ce sel étant assez peu soluble dans l'eau, on s'assure par un nouveau lavage à l'eau bouillante que la matière huileuse n'en retient plus. On précipite enfin l'amarine par l'ammoniaque. Pour l'obtenir pure, on la reprend par l'alcool bouillant, auquel on ajoute un peu d'acide chlorhydrique. Pendant que la dissolution est bouillante, on la neutralise par l'ammoniaque; alors, par le refroidissement, on obtient de belles aiguilles d'amarine pure.

Digitized by Google

L'amarine est incolore, inodore, très légèrement amère; elle bleuit lentement le papier de tournesol rouge et humide. Elle est insoluble dans l'eau, assez soluble dans l'alcool bouillant, dont elle se dépose en aiguilles à six pans, et dont les bases sont remplacées par deux ou quatre facettes conduisant à l'octaèdre rectangulaire.

Après avoir été fondue, elle se solidifie en cristallisant en rosaces radiées. Elle distille à une assez haute température sans s'altérer. Le brome l'attaque vivement; il se forme probablement de l'hydrobromate d'amarine et un autre produit (amarine bromée?).

Sa composition

$$=C^{42}H^{36}N^{4}.$$

L'*hydrochlorate d'amarine* s'obtient sous forme de matière huileuse en traitant l'amarine par H^2Cl^2; elle se prend peu à peu en une masse solide qui se laisse tirer en fils pendant qu'elle est chaude. Ce sel est très soluble dans l'alcool et l'éther, et peu soluble dans l'eau; il distille sans altération et se condense en une huile qui, en se solidifiant, reste transparente. Le brome l'attaque.

$$(C^{42}H^{36}N^{4}, H^2Cl^2+1/2H^2O).$$

L'eau s'en irait probablement par une dessiccation plus complète.

Le *chlorure platinico-amarique*, préparé directement au moyen de solutions alcooliques, se dépose en aiguilles jaunes qui se groupent d'abord pour former de longs rectangles, dont les extrémités s'étalent en formant ensuite une ellipse radiée. Examinés au microscope, on aperçoit de petits cristaux grenus ayant la forme d'octaèdres irréguliers.

$$C^{42}H^{36}N^{4}+H^2Cl^2+Cl^4Pt.$$

Le *sulfate amarique* est soluble dans l'eau et l'alcool; par l'évaporation spontanée, il donne de petits cristaux.

Le *nitrate amarique* cristallise de sa solution aqueuse en prismes microscopiques.

Constitution de l'amarine.

L'amarine se forme par l'action de l'ammoniaque sur l'oxide de benzène. Comme on ne connaît pas de benzénate d'ammoniaque, il paraîtrait que l'ammoniaque réduit l'oxide de benzine, et que l'azote entre dans l'amarine à l'état d'azote, et non à l'état d'amide, comme dans l'aniline (= phénamide).

Digitized by Google

3 oxide de benzine, $C^{42}H^{36}O^6$
2 ammoniaque, N^4H^{12}

donnent :

Amarine $=(C^{42}H^{36}N^4)+$ eau $=(H^{12}O^6)$.

Mais la réaction se passe probablement d'une autre manière. En effet, l'essence d'amandes amères peut donner naissance avec l'ammoniaque à trois composés isomères : l'hydrobenzamide, la benzhydramide et l'amarine. Ces trois corps ne peuvent avoir la même constitution. L'hydrobenzamide a conservé des propriétés qui la rattachent à la série benzoïque ; elle se métamorphose facilement en oxide de benzène, et peut s'unir au sulfure de ce même radical. En admettant que l'azote (comme la plupart des métaux) peut avoir deux équivalents, et en prenant dans ce cas-ci N2/3=Az, on explique la formation de l'hydrobenzamide de la manière suivante :

$C^{14}H^{12}+O^2$
$+Az^2H^4$

Hydrobenzamide $(C^{14}H^{12}+Az^2)+$ eau H^4O^2.

La benzhydramide renferme au contraire l'équivalent ordinaire N de l'azote.

$C^{42}H^{36}N^4$.

Quant à l'amarine, il pourrait d'abord se former un benzénate d'ammonium :

$C^{14}H^{10}(H^8N^2+O^2$,

qui, ensuite, pourrait, en se décomposant en :

$C^{14}H^{10}(H^4N^2)$,

s'unir à d'autres dérivés ou benzène pour constituer l'amarine?

Voici comment M. Laurent concevrait cette transformation :

$C^{14}H^{10}(H^8N^2)+O^2-H^4O^2=C^{14}H^{10}(H^4N^2)$
$C^{14}H^{10}(H^8N^2)+O^2-H^8O^2=C^{14}H^{10}\quad N^2$
$C^{14}H^{12}\quad+O^2-\quad O^2=C^{14}H^{12}$

$C^{42}H^{36}N^4=$ amarine.

Digitized by Google

Ces trois radicaux s'uniraient pour constituer l'amarine, qui devrait ses propriétés basiques au terme supérieur.

Benzoïnam.

$C^{56}H^{48}N^4O^2$.

En mettant dans un flacon de la benzoïne et de l'alcool absolu, puis en y faisant passer un courant de gaz ammoniac, et abandonnant le tout pendant quatre ou cinq mois, on trouve alors que les aiguilles de benzoïne ont disparu, et qu'à sa place il y a au moins cinq composés différents.

A. Du benzoïnam, } solubles dans 800 ou 1,000 fois leur poids
B. matière cristalline, } d'alcool, d'éther et de pétrole.

C. Aiguilles microscopiques, probablement de benzoïnamide, un peu plus solubles dans l'alcool.

D. Des grains cristallins arrondis, assez solubles dans l'alcool.

E. Une matière oléo résineuse, soluble dans l'alcool et très soluble dans l'éther.

La liqueur alcoolique retient en dissolution E et une partie de D. On fait bouillir le résidu avec de l'alcool qui enlève C.

Pour séparer A et B, on peut employer une solution alcoolique et bouillante de potasse qui dissout parfaitement B, mais en l'altérant, ou bien de l'alcool aiguisé d'acide chlorhydrique qui, à chaud, dissout facilement le benzoïnam, qu'on peut ensuite précipiter par l'ammoniaque sous forme d'aiguilles blanches, légères et microscopiques, inodores et insolubles dans l'eau.

L'éther et l'huile de pétrole bouillante dissolvent le benzoïnam en petite quantité: cependant, par le refroidissement, ces deux liquides se remplissent d'aiguilles soyeuses, mais très fines.

Il est fusible et cristallise en aiguilles par le refroidissement.

La potasse paraît ne pas l'altérer.

L'acide chlorhydrique, en présence de l'alcool bouillant, le dissout facilement; la solution étendue d'eau précipite un peu de benzoïnam, dont le reste est éliminé par l'ammoniaque.

La solution acide alcoolique et concentrée ne précipite pas le chlorure de plat

L'acide sulfurique le dissout avec une teinte rougeâtre; l'eau en précipite des flocons orangés.

Sa formule :

Digitized by Google

$$= C^{56}H^{48}N^4O^2$$

2 benzoïque $= C^{56}H^{48}O^8$

\+ 2 ammoniaque $= H^{12}N^4$

donnent :

$$C^{56}H^{48}N^4O^2 + H^{12}O^6.$$

L'essence d'amandes amères (C^{14}), sous l'influence de la potasse, donne de la benzoïne (C). Celle-ci, sous l'influence de l'ammoniaque, se change, soit en benzoïnam (C^{56}), soit en benzoïnamide (C^{42}). C'est un nouvel exemple qui s'ajoute à tant d'autres pour montrer la multiplication du radical $C^{14}H^{12}$ ou de ses dérivés, sous l'influence de l'ammoniaque ou de la chaleur.

Digitized by Google

DORURE GALVANIQUE

DES MOUVEMENTS D'HORLOGERIE TELLE QU'ELLE SE PRATIQUE DANS LA FABRIQUE NEUCHATELOISE;

Par A.-Oliver Mathey, essayeur-juré au bureau de garantie de Locle.

On a tant écrit sur la dorure galvanique qu'on est tenté de croire que tout a été dit sur ce sujet : cependant, si l'on compare toutes ces modifications et ces soi-disant nouveaux procédés, on voit qu'ils diffèrent très peu entre eux, et que cette légère différence n'a souvent aucune influence sur les résultats. Il n'existe donc réellement que deux procédés de dorure par voie humide utilisés dans les arts : la dorure au trempé, pour laquelle M. Elkington est breveté, et la dorure galvanique de M. de Ruolz, aussi breveté.

Ces deux moyens de recouvrir d'or divers métaux étant suffisamment connus, je ne répéterai pas ce que l'on sait généralement.

Jusqu'ici cette matière a toujours été traitée par de savants théoriciens, par de profonds chimistes, qui ont expliqué le jeu de chaque agent, l'attraction et la répulsion moléculaire, la combinaison des corps simples, les décompositions, etc. Tout cela est très bien pour la science ; mais pour l'ouvrier qui désire utiliser ces nouvelles découvertes, il faut des formules, des descriptions exactes d'opérations, parce qu'il n'a pas des connaissances de chimie assez étendues; et même fût-il chimiste, qu'en opérant exactement d'après une des descriptions sus-mentionnées, il n'aurait pas les résultats qu'il cherche, il n'arriverait pas toujours à faire une dorure irréprochable pour le commerce : car ce qui peut paraître bien pour le chimiste, peut ne pas l'être pour le consommateur ; et comme c'est pour ce dernier que l'artiste travaille, il doit nécessairement fabriquer des objets en rapport avec ses goûts. C'est ce dernier point que je me propose de traiter.

Placé au centre de la fabrique d'horlogerie neuchâteloise, et à même par ma position de connaître toutes les opérations qui s'y pratiquent, je vois avec peine que, chaque année, une quantité assez considérable de personnes se trouvent empoisonnées par le mercure qui se volatilise en dorant les mouvements de montre; empoisonnement terrible en ce qu'il met la personne atteinte dans l'impossi-

Digitized by Google

bilité de travailler, par suite d'un tremblement dans les membres.

Aussi, dès que M. Delarive eut publié son procédé de dorure galvanique, je m'empressai de répéter ces expériences et de faire des essais.

Mais ce procédé était encore trop imparfait pour recevoir une application à l'horlogerie, tant par le genre de dissolution alors en usage que par le système d'appareils recommandés.

En effet, en se servant d'un diaphragme poreux, soit en toile, soit en vessie ou en terre, qui sépare le liquide excitant de la dissolution d'or, on ne réussit à dorer que pendant quelque temps, parce que les liquides filtrent à travers le diaphragme et se mélangent; on a donc une perte d'or et une dissolution qui noircit au lieu de dorer.

Lorsque l'expérience m'eut démontré que cet appareil ne pourrait jamais être utilisé avec avantage par un praticien, quoiqu'il ait été préconisé par M. le docteur C. Elsner, de Berlin, dans le numéro de novembre 1843 de la *Revue scientifique*, j'essayai les batteries de Daniell, de Grove et de Bunsen, qui réussirent mieux, quoiqu'on pût reprocher à celle de Daniell d'être trop volumineuse, suivant la force du courant qu'elle donne, et qui devient presque nul après quelques jours.

Celle de Grove présente des inconvénients plus graves par l'odeur d'acide nitrique qu'elle répand, qui oxide les objets métalliques de l'atelier, et par l'action délétère de cet acide. D'ailleurs, le négatif de chaque couple étant de platine, le prix en est assez élevé.

Celle de Bunsen coûte moins, mais elle a les mêmes imperfections que la précédente, plus le dégagement de gaz acide nitreux et hydrogène sulfuré; ce dernier devient nul par la suite.

Il faut souvent décaper les parties métalliques aux points de jonction, ce qui demande beaucoup de soin.

Ces piles sont assez dispendieuses, parce que l'acide nitrique passe au travers des vases poreux, vient attaquer le zinc avec violence, le couvre d'oxide; et la force du courant est beaucoup ralentie, parce que le zinc n'est plus en contact direct avec l'eau acidulée.

On comprendra que tous ces inconvénients étaient suffisants pour que les ouvriers rejetassent le procédé galvanique et s'en tinssent au dorage au mercure; car ce n'était pas parer au danger: on ne faisait que changer le genre d'empoisonnement; il fallait corriger toutes ces imperfections, et conserver en même temps ce qu'il y avait de bon.

J'ai résolu le problème en rendant mes piles complétement inodores, en réduisant considérablement le volume pour une force don-

Digitized by Google

née ; elles peuvent marcher pendant deux ou trois mois sans interruption et sans y toucher ; après ce temps, on ne fait que changer les liquides ; elles ne demandent aucun autre soin, et sont peu dispendieuses.

Quant aux dissolutions, j'en ai essayé un grand nombre ; ce n'est que lorsque j'eus connaissance de celle de M. de Ruolz que je recommençai des expériences ; mais j'éprouvai encore beaucoup de difficultés.

Les sulfures ne me réussirent pas ; le ferrocyanure de potassium donnait une dorure orange qui n'est pas reçue pour l'horlogerie.

Enfin, la dissolution qui m'a le mieux réussi est celle décrite dans une petite brochure allemande par M. Rosler, traduite en français par le docteur Mayer, à Lyon. Elle se fait en dissolvant le chlorure d'or sec dans une solution de cyanure de potassium préparé d'après le procédé de Liebig.

Ce cyanure est coûteux, il est vrai ; mais on ne doit pas tenir compte du prix, puisqu'il peut servir longtemps en y ajoutant une nouvelle quantité de chlorure d'or neutre lorsque la dissolution est épuisée.

Cette dernière est sans contredit la meilleure ; elle est connue par la belle couleur d'or pur qu'elle donne, par sa préparation prompte et facile, et par toutes les teintes qu'elle donne lorsqu'on l'allie à l'argent ou au cuivre. Mais les objets que l'on dore sortent encore ternes et couverts d'un voile gris, principalement lorsqu'on se sert d'une dissolution alliée au cuivre ; ce qui n'est pas un obstacle, parce qu'on enlève facilement cette teinte désagréable à l'œil en avivant, si ces objets sont polis, comme boîtes de montres, orfévrerie, etc., avec une peau souple recouverte de rouge anglais (tritoxide de fer), ou de tripoli lavé.

Pour les objets mats, on les met en couleur par les procédés ordinaires, c'est-à dire en les plongeant dans un mélange de 40 parties de nitrate de potasse, 25 de sulfate d'alumine et 25 d'hydrochlorate de soude ; on fond ces sels dans leur eau de cristallisation, et on recuit les pièces avant de les immerger.

Ce procédé ne peut pas être employé pour les mouvements de montre, parce qu'on ne peut pas les recuire sans déranger quelque chose et sans amollir le laiton, et parce qu'on ne veut point de mat, mais bien un grenage brillant.

Ce grenage ne pouvait pas se faire par les acides en enlevant de la matière sans nuire aux ajustements qui demandent une grande précision, et une dorure avec un grenage en creux paraîtrait tou-

Digitized by Google

jours rouge à cause de la réflexion; c'est donc un grenage en relief et par application que l'on fait de la manière suivante.

Lorsque les pièces sont bien adoucies, sans traits, on les laisse plonger deux à trois minutes dans l'eau contenant environ un dixième d'acide nitrique; ensuite, sans les essuyer, on les gratte-brosse dans une infusion de marrons ou une infusion de réglisse, ou encore du vinaigre; on les lave ensuite, et, sans les essuyer, on les recouvre d'une couche d'or pur par la pile galvanique (ce décapage est pour enlever toutes substances grasses ou la couche d'oxide qui pourrait recouvrir les pièces).

On peut se servir avec avantage pour cette première dorure d'une vieille dissolution qui n'a pas une bonne couleur, parce que cette première couche n'est que pour rendre adhérent le grenage.

On laisse les pièces environ un quart d'heure dans la dissolution, que l'on chauffe à 20 ou 25 degrés.

Si l'on a un fort courant, trois minutes suffisent; mais il faut accorder la préférence à un faible courant régulier (1), et ne pas perdre de vue que la dorure à chaud est plus belle et s'effectue avec plus de rapidité qu'à la température atmosphérique; mais aussi les dissolutions s'évaporent et s'altèrent plus facilement.

Préparation de la poudre à grener.

On prend une once d'argent fin que l'on dissout dans quatre onces d'acide nitrique; on verse cette dissolution dans un vase en verre ou en porcelaine contenant trois litres d'eau; on dissout deux poignées de sel de cuisine (chlorure de sodium), que l'on ajoute dans le vase : l'eau devient laiteuse, et, après douze heures, une poudre blanche de chlorure d'argent s'est déposée au fond du vase; on décante l'eau qui surnage, et on lave sur un filtre, après quoi on laisse le chlorure d'argent en contact avec des lames de zinc immergées dans l'eau contenant un vingtième d'acide sulfurique, jusqu'à ce que la poudre ait pris une teinte noirâtre, c'est-à-dire que tout le chlorure soit réduit; on remue les lames de zinc toutes les demi-heures pour les mettre en contact avec les parties encore

(1) J'attribue la différence de couleur d'or que donne la dissolution au courant variable de la pile, qui, par un fort courant, donne toujours une teinte rouge terne. Il serait à désirer que quelques savants s'occupassent de la recherche d'un régulateur d'électricité pour que l'intensité du courant qui arrive dans la cuve à décomposition soit constamment la même.

Digitized by Google

blanches, afin que l'hydrogène les réduise; on lave et on sèche cette poudre pour s'en servir de la manière suivante.

On prend en poids une partie de cette poudre d'argent bien sèche, 6 parties de chlorure de sodium et 3 parties de tartrate acide de potasse (crème de tartre), le tout bien sec; on broie le tout finement en tournant avec le pilon dans un mortier en verre ou en porcelaine. Il ne faut pas triturer par percussion. On doit tenir ce mélange à l'abri de l'humidité, et n'en préparer que pour un jour.

Pour s'en servir, on en fait une pâte claire avec de l'eau; on prend une brosse à courts poils qui ait sept ou huit rangs (brosse à ongles), pas trop rude; on la lave à l'eau de savon pour en séparer les corps gras, on l'imprègne de cette pâte, et on frotte sa pièce en tournant quelques tours à droite et quelques tours à gauche pour ne pas faire un grenage allongé.

Plus on frotte longtemps, plus le grain est gros : une minute environ suffit; mais si l'on tient trop longtemps, tous les grains se touchent, et on a une surface plane sans grenage, mais avec des creux. Alors il faut adoucir et recommencer. Plus on ajoute de tartrate acide de potasse, plus le grain est fin et blanc.

On grène toutes les barettes de six ou douze mouvements ensemble, après les avoir fixées sur une plaque de liége avec des épingles. Lorsqu'on n'en a pas l'habitude, on grène ordinairement plus au centre que sur les bords. Avec un peu de pratique, on sait connaître la grosseur du grain à la résistance plus ou moins grande que l'on éprouve en poussant la brosse.

Ensuite, on gratte-brosse pour éclaircir le grenage, sans cela on aurait un grain mat. Le gratte-brosse doit être détaché, très long, 9 à 12 lignes, pour qu'il soit bien flexible.

On le passe souvent sur une râpe à sucre pour le démêler; on coupe les fils plus longs que les autres, parce qu'ils feraient des traits; on détache les pièces du liége lorsqu'elles sont suffisamment brillantes, et on les dore dans une bonne dissolution de couleur voulue; on les laisse environ une demi-heure, suivant que l'on veut obtenir une dorure plus ou moins forte.

Voici en résumé toutes les opérations successives :

1° Décaper à l'eau acidulée;
2° Gratte-brosser;
3° Dorer;
4° Grener;
5° Gratte-brosser;
6° Dorer de couleur voulue;
7° Gratte-brosser.

Digitized by Google

Il faut que toutes les pièces du même mouvement soient ensemble dans le bain d'or et à la même distance de l'anode, autrement elles n'auraient pas la même couleur.

On peut aussi se servir de poudre d'argent précipitée de sa dissolution nitrique par des lames de cuivre; mais on se sert beaucoup maintenant de poudre préparée en broyant de l'argent battu avec du miel, en dissolvant ensuite ce dernier dans l'eau. On tire généralement cette poudre de Paris.

Dernièrement, on a remplacé les trois premières opérations par un décapage aux acides concentrés, après lequel on peut immédiatement grener.

Dorages gravés avec reliefs polis.

Lorsque les gravures sont faites et les reliefs bien adoucis, on décape comme précédemment; on recouvre d'une forte couche d'or la pile; on met en couleur, on lapide les reliefs comme les fonds de boîtes de montre, et on cabronne.

Dorages avec gravures dorées et reliefs argent mat.

On dore comme précédemment; on couvre de gomme-laque en chauffant la pièce; on lime la gomme-laque pour découvrir les reliefs, et on grène à la brosse, mais en mettant beaucoup de crème de tartre et peu de sel pour avoir un grain très fin et très blanc.

On dissout la gomme-laque dans l'alcool, et on a une gravure dorée avec reliefs blanc mat. Ce genre est plus beau, plus fin, mais le premier est plus riche.

Dorure mate.

Jusqu'ici, on a déjà indiqué un assez grand nombre de dissolutions pour dorer mat.

J'ai essayé toutes celles qui sont parvenues à ma connaissance, mais toujours sans obtenir le résultat indiqué: aussi j'ai maintenant la conviction que, telles sont les surfaces en les plongeant dans une dissolution d'or ou d'argent, telles elles en sortent. Donc, si un objet est mat avant l'immersion, il l'est après, et *vice versa;* et pour qu'il soit mat, pour avoir le mat des pendules, il faut l'argenter à la brosse comme ci-dessus, puis le blanchir par le procédé employé pour les cadrans d'argent.

Digitized by Google

Blanchiment des cadrans d'argent.

On ajoute à trois onces d'eau une once d'acide sulfurique ; on fait bouillir cette eau acidulée dans une capsule de porcelaine ; on chauffe au rouge brun l'objet d'argent ou argenté lorsqu'il n'est plus rouge ; on le plonge dans cette eau bouillante ; on le laisse environ trente secondes, il sort très blanc mat ; on le lave à l'eau chaude et on le sèche dans un moufle ou sur la lampe à l'alcool. Il arrive quelquefois qu'il reste des taches grises : alors on recommence l'opération. Il faut tenir la pièce qu'on veut blanchir avec un fil de platine ou d'or, car autrement il serait sûrement taché.

Si l'on dore un objet passé au blanc mat comme ci-dessus dans un bain chauffé à 40 ou 50 degrés, on a le beau mat doré, qu'on peut encore rehausser en brunissant quelques parties, comme on le fait avec la dorure au feu.

Si on laisse trop longtemps les pièces dans la dissolution, elles prennent une teinte brune : alors il faut gratte-brosser et recommencer. Au reste la dorure n'en vient que plus belle et plus forte.

Préparation des objets à dorer.

Si c'est une pièce de fer ou d'acier bleuie, on la plonge dans l'eau acidulée par un dixième d'acide nitrique pour enlever le bleu, qui est une couche d'oxide de fer soluble dans cet acide, et qui empêcherait l'adhérence de l'or.

Si la pièce est recouverte d'un corps gras, on la lave dans une solution bouillante de potasse ou de soude, ou encore on la brosse à l'eau de savon.

Au lieu d'acide nitrique, on peut prendre le nitrate acide de mercure, qui est même préférable. Il est bon, en dernier lieu, avant de la dorer, de la laisser quinze secondes dans l'eau contenant un trois-centième de nitrate de mercure ; pour argenter solidement la pièce, cette opération devient nécessaire, sans quoi l'argent ne serait pas solidement fixé sur le fer.

De la disposition des pièces dans le bain.

Si on se sert d'un bain d'or à mille millièmes, l'anode (1) doit être

(1) On appelle anode la plaque de même métal que celui de la dissolution, et qui communique par un conducteur en platine avec le pôle négatif de la pile.

Digitized by Google

au même titre que la dissolution, parce qu'il se dissout, et que si on le mettait d'un autre métal ou d'or à un titre inférieur, il altérerait la dissolution en se combinant avec le bain.

On comprend que si l'on argente, l'anode doit être une plaque d'argent, etc. L'anode doit toujours plonger dans le bain avant le catode (1); mais ils ne doivent pas se toucher dans le bain.

Des couleurs d'or.

On connaît ici trois manières de mettre l'or en couleur par les sels mélangés dans des proportions différentes, suivant le ton voulu, par les cires avec lesquelles on couvre les pièces, et par les bains d'or par les sels.

On dore très fortement avec une dissolution d'or allié au cuivre; on chauffe les pièces, et on les plonge dans un mélange bouillant des sels suivants :

Nitrate de potasse (salpêtre),	40 grammes.
Sulfate d'alumine (alun),	25
Chlorure de sodium (sel marin),	35

On fond ces sels dans leur eau de cristallisation, ou en ajoutant très peu d'eau.

On peut prendre des recettes dans le Manuel du bijoutier pour les différentes compositions de cire à dorer; on chauffe la pièce, on la couvre de cire, et on chauffe de nouveau jusqu'à ce que la cire prenne feu; on la laisse quelques instants dans l'essence de térébenthine pour dissoudre la cire, et on gratte-brosse comme on le verra par la recette ci-dessous : c'est une couche mince de cuivre qui est réduit et précipité sur l'objet pour lui donner une couleur rouge; on fait des cires vertes en remplaçant l'acétate et le sulfate de cuivre par le sulfate de zinc ou le nitrate d'argent.

Cire à dorer.

Cire jaune,	120 grammes.
Vert-de-gris (acétate neutre de cuivre),	30
Sulfate de cuivre,	30
Alun et bol d'Arménie, chaque	30

On fait fondre le tout ensemble pour en faire des rouleaux.

(1) Le catode est l'objet à dorer, celui qui se couvre de métal et qui communique au pôle positif de la pile, soit au zinc.

Digitized by Google

Par les bains d'or.

On donne la couleur jaune avec un bain d'or de coupelle ou de ducat.

La couleur rouge s'obtient avec le bain précédent, dans lequel on ajoute plus ou moins de dissolution de cuivre, suivant la teinte plus ou moins rouge que l'on veut avoir.

L'or vert est encore la dissolution d'or de ducat dans laquelle on ajoute de la dissolution d'argent pour imiter la couleur des dorages au mercure; on prend 22 parties d'or fin et 2 parties d'argent. Au reste, les proportions varient suivant les goûts.

Dissolution d'or.

De tous les procédés indiqués, voici celui qui est généralement employé ici comme étant le plus simple, le plus facile à préparer, et donnant toujours de bons résultats.

On lamine un ducat, on le recuit pour brûler la graisse; on le dissout dans une once d'acide hydrochloronitrique (eau régale), composée de 3 parties en poids d'acide hydrochlorique et 2 parties d'acide azotique. Quand l'or est dissous dans un matras à l'aide de la chaleur, on décante dans une capsule de porcelaine en laissant au fond du matras la poudre blanche de chlorure d'argent; on évapore lentement jusqu'à ce que la liqueur soit rouge brun, alors on ajoute un demi-verre d'eau distillée.

On dissout du cyanure de potassium dans l'eau distillée, on filtre et on l'ajoute par petites parties à la dissolution d'or en remuant avec un tube de verre: alors la liqueur se trouble; mais en continuant à verser du cyanure, la liqueur s'éclaircit. Aussitôt qu'elle est claire, on discontinue d'ajouter du cyanure; on fait bouillir le tout quelques minutes, on filtre et on l'étend d'un litre d'eau distillée par ducat au moins, deux litres au plus. Cependant j'ai remarqué qu'une dissolution très étendue donne toujours de bonnes et belles dorures; il n'en est pas de même d'une dissolution trop concentrée: lorsqu'on s'en est servi pendant quelque temps, il faut la filtrer; on se sert pour cela de papier blanc non collé, et non de papier joseph, comme l'indiquent quelques traités de chimie, parce que ce dernier absorbe une certaine quantité de dissolution et filtre mal (1).

(1) On peut aussi, dans quelques occasions, se servir d'une dissolution d'or faite avec le prussiate jaune de potasse que l'on fait bouillir avec du

Digitized by Google

Dissolution d'argent.

On dissout l'argent fin dans l'acide nitrique, on évapore à sec, on dissout les cristaux dans peu d'eau distillée, et on ajoute une solution de cyanure de potassium en quantité suffisante pour dissoudre le cyanure d'argent qui s'est formé. Il arrive quelquefois qu'en ajoutant le cyanure la liqueur devient noire : cela tient à ce qu'on n'a pas assez évaporé ; alors on laisse dans cet état, et deux jours après elle s'est éclaircie. On filtre et on étend d'un litre d'eau distillée par once d'argent.

Dissolution de cuivre.

Si c'est pour allier aux précédentes, on la fait absolument comme celle d'argent ; mais si c'est pour cuivre, on ne fait qu'une solution de sulfate de cuivre dans l'eau.

Cyanure de potassium.

Cette préparation étant assez difficile et dangereuse, je conseille aux personnes qui n'ont pas une grande habitude des manipulations chimiques de ne pas le préparer elles-mêmes. On peut s'en procurer chez les fabricants de produits chimiques. Toutefois, afin de ne rien omettre, je vais indiquer la manière de le préparer.

On triture et on sèche 8 parties en poids de prussiate jaune de potasse, on en fait autant avec 3 parties de carbonate pur ou de bicarbonate de potasse ; on mélange le tout, et on le jette par parties dans un creuset de Hesse ou de plombagine incandescent ; on continue le feu. Lorsque la matière est en fusion, on plonge un bâton en verre préalablement chauffé, et lorsqu'il sort couvert d'une matière claire et blanche, on retire le creuset du feu et on coule le contenu dans un cône de fer décapé ; et, lorsqu'il est froid, on l'enferme dans un flacon bien bouché.

Des épargnes.

Les épargnes sont en général des substances grasses ou résineuses avec lesquelles on recouvre les parties des pièces que l'on ne veut pas mettre en contact direct avec la dissolution. On comprend que

carbonate de potasse pour en précipiter le fer. Cette dissolution donne une couleur d'or différente de l'autre.

Digitized by Google

l'on couvre d'épargne les parties d'un vase d'argent que l'on ne veut pas dorer.

Il est assez difficile d'en trouver une bonne : les unes se dissolvent dans le cyanure de potassium ; d'autres s'étendent avec difficulté, et ne permettent pas de tracer des dessins : aussi sont-elles différentes suivant le but qu'on se propose. Pour couvrir une grande étendue, comme un revers de médaille, on peut prendre la cire blanche ou la gomme-laque.

Pour faire un dessin ou suivre des traits, on prendra le vernis copal ou l'huile d'asphalte.

Dans la fabrique d'horlogerie neuchâteloise, on ne se sert guère de ces épargnes, qui ne donnent jamais des traits francs. On préfère dorer toute la pièce d'argent, et ensuite graver ou guillocher les parties qui doivent être blanches.

Ce procédé paraîtra peut-être un peu long; mais j'ai cru devoir entrer dans beaucoup de détails, afin d'en assurer la réussite aux praticiens qui connaissent peu la chimie.

MONSIEUR LE RÉDACTEUR,

Comme je l'ai dit dans l'article qui précède, placé au centre de la fabrique d'horlogerie neuchâteloise, et par cela même en position de connaître tous les perfectionnements qui s'y font, et auxquels je coopère de toutes mes forces, je pourrai quelquefois vous donner des articles sur la métallurgie en général, et ses applications aux arts en particulier.

Si l'espace vous permet d'insérer la lettre suivante, je vous en serai reconnaissant.

J'ai lu avec un grand et légitime intérêt l'article que M. Briant a fait insérer dans le numéro de décembre 1844 de votre journal, qui est relatif à la dorure galvanique

Je crois cependant utile, et peut-être nécessaire, de publier les divergences d'opinion qui existent entre M. Briant et moi, laissant aux praticiens le soin de prononcer entre nos deux méthodes, puisque toute théorie doit être sanctionnée par la pratique.

D'après les nombreux essais de comparaison que j'ai faits avec le chlorure d'or dissous dans le cyanure simple de potassium et l'oxide d'or dissous dans le même cyanure, j'ai toujours obtenu les mêmes résultats en opérant dans les mêmes conditions. C'est pourquoi je ne comprends pas pourquoi on ferait la longue et coûteuse préparation

Digitized by Google

de l'oxide d'or, préparation qui a en outre l'inconvénient de laisser passer une partie notable d'or en dissolution dans les eaux de lavage.

Je suis convaincu que ceux qui feront des essais comparatifs ou qui pratiquent cette branche d'industrie, accorderont la préférence au chlorure d'or sec dissous dans le cyanure simple de potassium préparé d'après M. Liebig; car le ferrocyanure de potassium donne toujours aux objets dorés une teinte d'un jaune faux, telle qu'en comparant une plaque d'or avec une plaque dorée de cette manière, les personnes les moins expertes peuvent s'apercevoir de la différence.

On voit ainsi que le cyanure simple, quoique plus cher que le ferrocyanure, est plus avantageux que ce dernier, préconisé par M. Briant, qui dit : Quand le liquide est épuisé, il suffit d'y ajouter une nouvelle quantité d'oxide d'or.

On reconnaîtra alors qu'un peu d'oxide de fer s'est encore précipité, ce qui fait penser à M. Briant que le liquide s'améliore à mesure qu'on s'en sert.

Or, si M. Briant convient que le fer n'est d'aucune utilité, qu'il est même nuisible, puisque la dissolution s'améliore à mesure qu'on élague le fer, pourquoi ne prendrait-on pas d'abord le cyanure, qui ne contient point de fer? Je préfère aussi une lame d'or à une lame de platine pour anode, parce qu'à mesure que l'or de la dissolution se précipite sur le catode, une partie du cyanure devient libre et dissout l'anode, et empêche par là le dégagement d'acide hydrocyanique qui a lieu avec l'anode de platine, et qui, quoique peu considérable, pourrait, après un certain temps, surtout en opérant journellement, nuire à la santé.

A.-O. Matthey,

Essayeur-juré au bureau de garantie de Locle.

Digitized by Google

PROCÉDÉ ÉCONOMIQUE

POUR PRÉPARER L'OXIDE DE CARBONE ;

Par E. Filhol.

Dans le mémoire qu'il a publié depuis peu de temps sur l'acide lactique, M. Pelouse a signalé la réaction suivante :

Si l'on fait un mélange d'acide lactique et d'acide sulfurique concentré, ce dernier acide étant en grand excès, on obtient, en chauffant légèrement le vase qui le renferme, un abondant dégagement d'oxide de carbone pur.

En réfléchissant au rapport de composition qui existe entre le sucre et l'acide lactique, j'ai été porté à penser qu'il ne serait pas impossible qu'une réaction analogue s'établît si, dans le mélange précédent, on substituait le sucre à l'acide lactique.

J'ai chauffé dans un petit matras environ 500 grammes de sucre avec 80 grammes d'acide sulfurique; le mélange, étant maintenu à une chaleur très douce, une réaction vive s'est bientôt manifestée, un dégagement très abondant de gaz s'est produit, la masse s'est tuméfiée, a noirci, et est devenue presque solide; j'ai arrêté alors l'opération. J'avais obtenu environ deux litres de gaz. Ce gaz était un mélange d'acide carbonique et d'oxide de carbone, privé, par un lavage à l'eau de chaux, de tout son acide carbonique. Il brûlait avec une flamme d'un bleu pur; chauffé dans une petite cloche courbe renfermant du potassium, il était absorbé presque en totalité en laissant un dépôt de charbon.

L'analyse eudiométrique m'a démontré aussi qu'il était formé d'oxide de carbone d'une pureté presque absolue.

J'ai obtenu des résultats analogues en substituant au sucre de canne le glucose, et même l'amidon.

Cette manière de préparer l'oxide de carbone me paraît plus avantageuse et plus économique que celle qui consiste dans l'emploi d'un mélange d'acide oxalique et d'acide sulfurique, dont on se sert le plus souvent dans les laboratoires, et pourrait lui être substituée sans inconvénient.

Je ferai observer que la proportion d'acide carbonique est moindre dans le mélange gazeux obtenu par la réaction de l'acide sul-

Digitized by Google

furique sur le sucre (elle forme environ un cinquième du volume du gaz ; elle varie d'ailleurs presque à chaque opération), que dans le mélange qui provient de la réaction du même acide sur l'acide oxalique.

ANALYSE

D'UN MÉMOIRE DE MM. FLANDIN ET DANGER SUR L'EMPOISONNEMENT PAR LE MERCURE.

Parmi les agents toxiques qu'il importe au plus haut point d'étudier, les préparations mercurielles doivent, sans contredit, être placées au premier rang, autant par leur énergie, qui est bien connue, que par l'usage fréquent que l'on en fait en médecine et dans les arts. MM. Flandin et Danger semblent avoir bien compris tout ce qu'il y avait à faire sur cet important sujet ; aussi viennent-ils d'écrire, après voir procédé par la voie logique, c'est-à-dire par l'expérimentation, un premier mémoire dans lequel ils discutent sur le peu de valeur de la pile de Smithson, et sur les erreurs auxquelles elle peut conduire. Ils font ensuite connaître la méthode qu'ils emploient pour détruire les matières animales, et l'heureux usage que l'on peut faire de la pile de Bunsen, ainsi que d'un appareil qu'ils ont imaginé pour transformer à l'état normal le mercure absorbé.

Depuis bien longtemps les auteurs s'occupent à éclairer la question de savoir si l'on retrouve le mercure à l'état métallique dans l'économie, après l'absorption d'un sel ou d'une préparation mercurielle quelconque. Celse, Gallus, Fallope, Musa, Brassavale, Fœrnel, Trajanus, Vieussens, Mead, Fourcroy, Blukman, Eisteiten, Tiedmann, Gmelin et M. le professeur Duméril affirment avoir rencontré très souvent du mercure métallique dans les tissus. M. Duméril dit que « sur le nombre de deux mille cadavres disséqués ou ouverts par lui, ou sous ses yeux, il a rencontré huit ou » dix fois des globules mercuriels dans diverses parties du corps. » L'auteur de cet article a également rencontré sur la peau d'un cadavre, dans les amphithéâtres de l'école, des globules mercuriels. Mais à quoi peuvent conduire toutes ces assertions, puisque aucun des auteurs qui viennent d'être nommés n'indique les circon-

Digitized by Google

stances dans lesquelles ils ont rencontré ces globules ? Est-ce à la suite d'un traitement antisyphilitique par le deutochlorure ou par l'onguent napolitain ; est-ce à la suite d'un empoisonnement par l'un des sels ou une autre préparation mercurielle? Rien n'est spécifié, et cependant il est impossible de tirer des inductions et de se former une opinion à cet égard, si l'on n'a pas des observations bien positives.

Aussi, bien que les auteurs du mémoire qui nous occupe n'aient traité cette question que subsidiairement, et qu'ils n'aient pas donné le résultat de leurs propres expérimentations, nous devons leur dire qu'ils ont peut-être trop rapidement formulé leur manière de voir sur la foi des noms célèbres que nous avons cités plus haut.

Il y a eu de tout temps également des hommes qui ont nié que le mercure pût être trouvé à l'état de métal ; mais ceux-ci nous semblent être tombés dans un excès contraire. La question qui nous occupe est complexe, on n'y a pas assez pris garde ; on n'a pas fait attention qu'il y avait des préparations qui pouvaient être plus facilement réduites que d'autres, et que tel toxicologiste qui n'avait pas trouvé de mercure métallique dans le tube digestif après l'injection de deuto ou de protochlorure, aurait pu fort bien en trouver dans l'économie, ou dans la veine porte, après de nombreuses frictions d'onguent napolitain sur la peau d'un animal, ou l'usage intérieur d'une préparation analogue. En somme, nous pensons que l'on ne peut pas aujourd'hui, pour décider une telle question, s'en tenir aux assertions passagères des médecins anciens ou modernes, quel que soit leur mérite, et que de nombreuses expériences doivent être entreprises dans cette direction. Elles seules pourront amener à la découverte de la vérité.

Pour être justes, et nous y tenons beaucoup, il convient de dire que M. Orfila est le premier qui, ayant voulu décider cette question, fît des expériences réellement méthodiques qu'il publia en 1830. Personne ne nous en voudra, sans doute, loin de là, de les faire sommairement connaître, et l'on verra que si, pour quelques uns, elles ne sont pas tout-à-fait concluantes, du moins elles constituent un véritable progrès ; car elles lui ont permis de poser des règles, des conclusions motivées que l'on ne peut discuter désormais sérieusement si l'on n'a par devers soi de nouvelles expériences. Nous y avons bien découvert çà et là, en les lisant avec la plus grande attention, des contradictions ; mais de ce que notre opinion n'est pas conforme à celle du savant toxicologue, nous n'en induisons pas qu'elles sont sans importance. Il nous suffit de donner sommairement la première série d'expériences, car l'espace nous

Digitized by Google

manquerait pour achever ce que nous avons à dire de l'intéressant mémoire de MM. Flandin et Danger.

« Injection dans l'estomac de poisons mercuriels non mélangés d'autres substances. »

1° Deutochlorure de mercure, 30 à 40 grammes. Chiens de moyenne taille, morts, dix, douze heures après; enterrés dans une bière de sapin à quatre pieds de profondeur, ils furent exhumés quatre mois après, et l'on ne trouva à la surface du tube digestif aucune *trace de mercure normal*.

2° Si on la laisse à l'air au lieu de l'enterrer, la muqueuse intestinale devient grisâtre. On ne remarque pas non plus de *traces de mercure normal*.

3° A plus forte raison quand les chiens sont ouverts un ou deux jours après.

4° Le deutochlorure, placé dans le gros intestin avec de la viande hachée, du pain émietté, de l'eau albumineuse, et l'intestin placé dans une boîte de sapin, deux ou trois mois après il n'y a encore aucune *trace de mercure normal*.

Oxides de mercure. — L'auteur donne le même résultat, et il ajoute, à propos du protoxide : « Sans doute qu'en comprimant » cet oxide, et en regardant à l'aide de la loupe, on apercevra du » *mercure métallique* disséminé çà et là; mais on sait que l'oxide » noir, avant de le faire avaler à l'animal, aurait présenté le même » phénomène... L'estomac et le canal intestinal, desséchés à une » douce chaleur, offrirent, dans plusieurs points, une multitude » de globules de mercure tellement petits, qu'on ne put les voir » qu'à l'aide d'une forte loupe. Ils adhéraient intimement à la mu- » queuse. »

En répétant l'expérience du nitrate de mercure, on parvint à découvrir des *globules mercuriels* également adhérents à la muqueuse, mais très faciles à apercevoir avec une loupe.

Mais si l'on opère avec du sucre mercuriel et de l'onguent mercuriel, du mercure éteint avec de la gomme, on découvre encore une plus grande quantité de mercure normal dans le tube digestif, et cette fois les globules sont assez volumineux pour que l'on puisse se passer de loupe pour les distinguer.

Dans une seconde série d'expériences, M. Orfila ingéra dans l'estomac des animaux des poisons mercuriels mélangés de substances capables de les réduire à l'état métallique.

Nous ne pouvons prolonger plus loin cet exposé; nous voulions seulement indiquer quelle marche M. Orfila avait suivie, les résultats qu'il avait obtenus, et surtout montrer que ce que nous disions

Digitized by Google

plus haut, à savoir, que la question était on ne peut pas plus complexe, méritait de la part des expérimentateurs la plus sérieuse attention.

Cette question principale soulève plusieurs autres questions médico-légales d'un grand intérêt, sur lesquelles nous reviendrons spécialement dans un autre article. Il en sera de même de la partie purement physiologique du mémoire que nous analysons, c'est-à-dire de l'absorption, car nous avons hâte de faire connaître les points les plus importants qui ont été traités par MM. Flandin et Danger.

« En 1828, à l'époque où l'auteur se fit connaître, il s'agit de la » pile de Smithson; ce petit appareil parut devoir être, pour la re- » cherche du mercure, ce que fut depuis l'appareil de Marsh dans » les cas de médecine légale pour la recherche de l'arsenic. Rap- » prochement singulier! l'une et l'autre découverte nous vinrent » d'Angleterre, et en France l'emploi de l'un et de l'autre instrument » faillit être la source des erreurs les plus graves. On n'a pas oublié » que l'appareil de Marsh fit découvrir de l'arsenic à l'état normal » dans le corps humain. De même, aux premiers essais que l'on fit » parmi nous de la pile de Smithson, on vit du mercure là où il » n'en existait pas. »

L'application de l'électricité à la recherche du mercure dans les matières organiques est certainement une des belles et importantes découvertes qui ont été introduites dans les analyses médico-légales. Elle repose, du reste, sur des principes bien connus en chimie et en physique. Mais la pile imaginée par Smithson, qui est vraiment d'une simplicité remarquable quant à la forme et à la manière de s'en servir, est un instrument extrêmement défectueux. MM. Orfila et Chevalier, dans les premiers essais qu'ils en firent, il y a déjà seize ou dix-sept ans, furent sur le point de commettre une erreur que leur grande expérience leur fit éviter. C'est alors que l'un d'eux, M. Orfila, fit connaître cet instrument, et signala aux chimistes, dans un mémoire détaillé, tout ce qu'il y avait de vicieux et d'irrégulier dans la manière dont il fonctionnait.

Puisque nous sommes sur ce sujet, nous croyons devoir relever l'erreur d'un journal qui, dans son compte-rendu de l'Académie des sciences, a fait dire à MM. Flandin et Danger que M. Orfila, sur la seule expérience de la pile de Smithson, aurait fait mal à propos poursuivre l'auteur d'un vol. Cette assertion est entièrement controuvée, et nous devons rétablir les faits. Voici ce qu'il est dit dans le mémoire qui a été lu à l'Académie des sciences. « On ne pouvait » élever aucun doute sur la valeur de l'analyse : au contact de la

Digitized by Google

» liqueur de composition mystérieuse, la lame d'or de la pile avait » blanchi. L'inventeur protesta que sa liqueur ne contenait pas de » mercure, et l'on découvrit que ce n'était pas, en effet, par du » mercure que la lame d'or avait blanchi, mais par de l'étain, » provenant de l'élément électro-négatif de la pile elle-même. Dès » lors fut donné le précepte de ne pas s'en tenir au changement de » couleur de la lame d'or pour prononcer sur l'existence du mer- » cure, mais d'exiger sous forme de globules la réduction du » métal dans un tube. »

On le voit donc, dans ces phrases il n'y a eu qu'un fait de signalé, sans malveillance aucune, puisque immédiatement après on rappelle le précepte de réduire le mercure à l'état de globules, que M. Orfila a donné lui-même à la suite de cette expertise dont on a tant parlé.

Le principe de la pile de Smithson, admis par tout le monde, et devant conduire infailliblement à des résultats positifs, il s'agissait, sinon de simplifier davantage l'instrument, du moins de le perfectionner de telle sorte qu'il fût plus *délicat* et moins mensonger. L'esprit naturellement investigateur de MM. Flandin et Danger les a conduits, après une longue série d'expériences, à la découverte d'un appareil peut-être un peu compliqué, c'est là son seul défaut, qui leur permet de faire passer un courant galvanique dans un liquide d'expérience, à mesure qu'il s'écoule goutte à goutte dans un tube capillaire. De cette façon, en effet, chacune des molécules du liquide est successivement soumise à l'action galvanique, et l'on conçoit facilement que, pour peu qu'il y ait de mercure en dissolution, il doit bien vite être découvert. Cet instrument est compliqué, cela est vrai : mais chacune des pièces est en verre ; tout chimiste sait manipuler un tube de verre à la lampe d'émailleur, et peut par conséquent s'en fabriquer lui-même. Il n'y a donc que la pile de Bunsen à avoir, et nous ne voyons pas que cela soit d'une grande difficulté. En définitive, si l'on se sert de la pile de Bunsen, on peut tout aussi aisément se servir d'une pile à auge. Est-il donc quelque part un chimiste qui n'ait pas ces instruments à sa disposition ?

Voici, du reste, l'appareil que ces auteurs proposent. Pour plus de régularité, nous donnerons la description qu'ils en ont faite dans leur mémoire : « Un verre V sert de récipient au liquide d'épreuve. » Sur un support S d'un mécanisme particulier, est adapté une » sorte d'entonnoir terminé par un tube effilé F, dont l'aire est » presque capillaire. Ce tube d'ajutage forme avec le corps de l'en- » tonnoir un angle de 90°. Le vase V, rempli du liquide suspect, est

Digitized by Google

» renversé dans le petit entonnoir. Au moyen d'une articulation du » support, on peut donner à l'appareil en place telle inclinaison que » l'on juge convenable pour l'écoulement du liquide. Dans la partie » évasée de l'entonnoir E est placé le conducteur électro-négatif » d'une pile à un seul couple de *Bunsen*, et dans l'aire du tube ca- » pillaire F est introduit le conducteur électro-positif. L'un et » l'autre fil, dans la partie du moins qui touche au liquide, doit » être assez pur. Les deux pôles seront rapprochés presque jusqu'à » contact. Par suite de l'excès de pression sur l'ouverture capillaire » du tube F, le liquide prend son écoulement goutte à goutte, et on » le reçoit dans une capsule. Le vase V remplissant le rôle du vase » de Mariotte ou d'une fontaine intermittente, la pression reste » constante sur le liquide, et l'écoulement est régulier au point G. » Cet écoulement peut être accéléré ou ralenti au gré de l'opérateur » par le degré d'inclinaison donné à l'appareil. Il nous paraît que » dans les cas ordinaires il devait être réglé de manière que, tom- » bant, chaque goutte de liquide marquât un intervalle de cinq se- » condes. »

L'appareil étant ainsi disposé, on met la pile en mouvement; aussitôt après il s'opère un dégagement de gaz, et bientôt le mercure se dépose sur le fil d'or électro-positif qui blanchit. Mais il est bien recommandé, quoique l'on soit déjà autorisé à conclure, de ne pas s'arrêter là, et de compléter l'expérience par la volatilisation du mercure, déposé sur le fil dans un tube très sec, comme l'a recommandé M. Orfila pour la pile de Smithson. Il est impossible, dès à présent, de ne s'être pas convaincu que cet appareil est bien préférable. On sait, en effet, que dans la petite pile de Smithson, l'élément électro-négatif, l'étain, peut, en se dissolvant dans le liquide d'expérience, blanchir la lame d'or, et que c'est là ce qui peut en imposer aux experts. On sait aussi que cet instrument est plongé dans la masse totale du liquide sur laquelle il doit agir. Enfin, il n'est personne qui ignore que ce procédé est très lent, et que l'on ne peut, à son gré, activer ou ralentir une expertise. Or, dans l'appareil que nous venons de faire connaître, quels avantages ne trouve-t-on pas en échange! D'abord les fils sont formés d'un seul métal, d'or, et il n'y a point à craindre qu'ils soient blanchis par autre chose que par du mercure. Secondement, un couple de la pile de Bunsen a plus de force que deux fils d'étain et d'or entortillés, et son action est infiniment plus prompte. Troisièmement, enfin, le courant galvanique agit successivement et avec la lenteur ou la vitesse que l'on veut sur chacune des molécules du liquide.

Pour le moment, nous n'y trouvons point de sources d'erreur;

Digitized by Google

plus tard, peut-être, l'expérience aidant, en découvrira-t-on. C'est ce que l'on ne peut prévoir, et si cela arrive, il sera fort important de les connaître et de chercher quelque perfectionnement plus convenable. Toujours est-il que l'on ne peut s'empêcher d'y trouver des avantages réels qui doivent désormais faire proscrire la pile de Smithson. Si nous n'avions fait que lire ce que disent MM. Flandin et Danger de cet ingénieux appareil, nous n'en parlerions certainement pas en termes aussi affirmatifs. Nous en avons fait l'essai, et dans un liquide contenant en dissolution des particules infinitésimales de deutochlorure, nous avons réussi immédiatement à blanchir notre fil d'or électro-positif. Nous engageons donc les chimistes à faire comme nous, car si l'expérimentation parle pour ou contre, il sera urgent d'en être instruit. Tel est l'appareil de MM. Flandin et Danger, telle est la manière dont ils procèdent, et l'on doit voir par ce simple aperçu qu'il offre plus d'avantage que la pile de Smithson dont il n'a aucun des inconvénients. Ces avantages sont :

1° D'agir successivement sur chacune des gouttes du liquide suspect, de pouvoir ainsi mettre à nu une plus grande quantité de mercure, et, bien plus, de découvrir des doses infinitésimales de ce poison; 2° d'avoir deux pôles formés d'un seul métal, l'or, en sorte que l'on n'a pas à craindre, comme avec la pile de Smithson, que la tige électro-positive soit blanchie par autre chose que par du mercure; 3° que son action est plus grande par le fait seul de la présence d'un couple de la pile de Bunsen ou d'un couple de la pile dont on peut augmenter la force par autant de couples que l'on veut. Les inconvénients qui existent à présent consistent seulement, comme on a dû s'en assurer, dans sa complication. Il n'est pas aussi simple, il s'en faut de beaucoup, que le précédent, et l'on ne peut aussi promptement ni aussi facilement s'en procurer un.

Nous ne quitterons pas ce sujet sans dire de nouveau, la preuve en main, que c'est bien M. Orfila qui, le premier (juin 1829), a fait très bien connaître la petite pile, dont il a signalé toutes les sources d'erreur, et que personne ne saurait le lui contester. Nous ne sachions pas que MM. Flandin et Danger aient eu l'idée de s'en attribuer le mérite; car, dans leur mémoire, rien ne dénote qu'ils y aient pensé. Dans tous les cas, ils auraient le plus grand tort si cela était. Ce que l'on peut dire, c'est qu'ils ont vérifié, après bien d'autres personnes il est vrai, tout ce qu'avait dit et écrit M. Orfila, et qu'ils en ont très certainement reconnu toute la valeur ; qu'alors ils ont songé à éviter les sources d'erreur signalées, et que, dans ce but, ils ont cherché le moyen, d'après les mêmes

Digitized by Google

principes, de confectionner un appareil qui remplit toutes les conditions et toutes les qualités nécessaires pour arriver à la découverte de la vérité. Ont-ils donc pris les idées du savant toxicologue? Nous ne le pensons pas. Seulement, un progrès en amène un autre, et c'est ainsi que le mémoire de 1829, le perfectionnement employé depuis par M. Orfila, et consistant en une lame de cuivre bien décapée pour remplacer la pile de Smithson, ont conduit à la découverte, ou plutôt à l'idée de l'appareil de MM. Flandin et Danger.

Voici au surplus, afin que personne n'en ignore, les conclusions que M. le doyen tirait dans son mémoire de 1829 : « Nous n'hésitons pas à conclure, d'après ce qui précède : 1° que le petit appareil imaginé par James Smithson pour découvrir de très petites quantités de sublimé corrosif, ne peut servir à déceler des atomes d'une préparation mercurielle dans une liqueur suspecte qu'autant *qu'on retire du mercure métallique par la distillation de la lame d'or*, parce que ce petit appareil se comporte à très peu de chose près de la même manière lorsqu'on le place dans des liqueurs *non mercurielles*, légèrement acides ou qui contiennent seulement une petite quantité de sel commun; 2° qu'à la vérité la manière différente d'agir de l'acide chlorhydrique concentré sur la lame d'or blanchie par le mercure ou par l'étain peut déjà faire croire que cette lame est plutôt recouverte par l'un que par l'autre de ces métaux; 3° que les experts seraient blâmables si, dans l'état actuel de la science, ils continuaient à regarder, ainsi que l'avait conseillé Smithson, comme preuve de l'existence d'une préparation mercurielle, le simple blanchiment de la lame d'or de la petite pile, et la possibilité de lui faire recouvrer sa couleur jaune par l'action de la chaleur; 4° que, pour acquérir cette preuve, il faut d'abord traiter la lame d'or par l'acide chlorhydrique concentré et *pur*, puis recourir à la distillation après l'avoir lavée : par ce moyen, on pourra continuer à se servir avantageusement de la petite pile électrique, qui est, sans contredit, le réactif le plus sensible pour découvrir les plus petites traces d'un sel mercuriel. »

C'était, en effet, le réactif le plus sensible, mais c'était aussi celui dont il fallait se servir avec le plus de défiance. Nous ne nous occuperons point des lames de cuivre décapé dont on se sert pour l'emploi de la pile de Smithson par les raisons que nous avons données plus haut. Nous préférons, sauf plus ample examen, le nouvel appareil.

Le point le plus important, sans contredit, dans la recherche du

Digitized by Google

mercure dans les matières organiques est la destruction préliminaire et complète de ces matières ; car, sans cette opération, il est bien difficile de mettre à nu la substance vénéneuse. Or, quels procédés doit-on donc employer de préférence? Serait-ce, par exemple, celui de M. Lassaigne? Ne sait-on pas que ce procédé, dont l'usage est fréquent en chimie proprement dite, est impraticable dans les expertises médico-légales. Serait-ce celui de M. Devergie, lequel est réellement préférable au précédent? Non ; car malgré tout ce qu'on peut faire, il reste toujours une certaine quantité de matière grasse qui est en quelque sorte le résultat de l'action du chlore gazeux sur les matières organiques ; et, de plus, il est long, ennuyeux, et avec lui on découvre moins de mercure que par le procédé de M. Orfila, que nous allons citer textuellement. Cependant, bien que le procédé de M. Devergie soit connu de tous les chimistes, il nous faut l'exposer en deux mots, afin que le parallèle soit plus complet. Il consiste à détruire les matières organiques solides dans de l'acide hydrochlorique concentré, puis à faire traverser la dissolution par un courant de chlore gazeux qui doit en compléter la destruction, la carbonisation. Eh bien, le chlore gazeux, d'après l'avis même de M. Orfila, ne détruit pas convenablement les matières organiques, alors même qu'on en fait passer plusieurs courants pendant plusieurs heures.

Il nous reste donc le procédé de M. Orfila : or, il est évidemment plus complet et plus certain, et, par suite, de beaucoup préférable à tous ceux que l'on avait donnés avant lui ; mais dès qu'on l'aura lu, nous ferons quelques remarques, et nous espérons démontrer que bien que l'acide sulfurique soit employé dans cette opération, le procédé de MM. Flandin et Danger en diffère essentiellement.

Procédé de M. Orfila. — On fait bouillir pendant deux ou trois minutes dans une capsule de porcelaine les matières vomies et celles qui ont été trouvées dans le canal digestif, afin de coaguler et de séparer une portion de matière animale ; on filtre, et après avoir acidulé la liqueur avec quelques gouttes d'acide chlorhydrique, on y plonge une ou plusieurs lames de cuivre parfaitement décapées. Si ces lames sont ternies au bout de quelques instants ou de plusieurs heures, qu'elles soient grises ou blanches, on les laisse pendant quelques minutes dans une dissolution d'ammoniaque faible qui dissout l'oxide ou le chlorure de cuivre qui ont pu se former ; on les lave avec de l'eau distillée ; on les essuie en les pressant entre deux feuilles de papier joseph, puis on les coupe en très petits morceaux, et on les introduit dans un tube de verre effilé à la lampe

Digitized by Google

Que l'on obtienne ou non du mercure métallique dans la partie la plus rétrécie du tube, on évapore jusqu'à siccité au bain-marie la liqueur dans laquelle ont séjourné ces lames; le produit sec est introduit dans une cornue de verre tubulée avec le sixième de son poids d'acide sulfurique concentré et pur; à cette cornue est adapté un récipient qui plonge dans l'eau froide, et qui communique, à l'aide d'un tube recourbé, avec une éprouvette à moitié remplie d'eau distillée, et qui est également entourée d'eau fraîche. On élève successivement la température de la cornue, et bientôt la matière qu'elle contient noircit et entre en ébullition; on pousse l'opération à une chaleur modérée jusqu'à ce que cette matière soit réduite en un charbon à peu près sec, et par conséquent jusqu'après le moment où il s'est dégagé des vapeurs abondantes d'acide sulfureux. On opère séparément sur le charbon et sur les liquides distillés. On fait bouillir le *charbon* avec 50 à 60 grammes d'eau régale, composée de deux parties d'acide chlorhydrique et d'une partie d'acide azotique concentrés; on cesse de chauffer lorsque la majeure partie de l'eau régale est évaporée et que le charbon est à peine humide: alors on traite celui-ci par l'eau distillée bouillante et on filtre; une petite partie de la liqueur filtrée, en général incolore ou jaunâtre, est mise en contact avec une ou plusieurs lames de cuivre parfaitement décapées qui ne tardent pas à se recouvrir d'une couche grise et blanchâtre, si cette liqueur contient du mercure; on agit sur les lames comme il vient d'être dit plus haut, afin d'obtenir du mercure métallique. On agite le restant de la liqueur, c'est-à-dire la majeure partie avec de l'éther sulfurique pur dans un tube ou dans un petit flacon, et l'on ne tarde pas à voir deux couches se former; on sépare la couche supérieure éthérée à l'aide d'un entonnoir et du doigt, et en faisant évaporer l'éther à la température ordinaire, on a une douce chaleur; il reste du sublimé corrosif solide, facile à reconnaître. Les *liquides distillés* contiennent ordinairement une quantité considérable de sublimé corrosif par rapport à celle qui se trouvait dans la matière suspecte; ils renferment aussi une matière organique, de l'acide sulfureux, etc. On les réunit et on les fait bouillir pendant quinze ou vingt minutes avec de l'eau régale, puis on fait traverser la dissolution par un courant de chlore gazeux pendant une heure environ; on filtre la liqueur pour la séparer de quelques flocons graisseux et albumineux qui ont pu se former, et on la fait évaporer au bain-marie. Si la proportion du sublimé est un peu notable, il se forme vers la fin une pellicule qui annonce que le sel va cristalliser; cela étant, on laisse refroidir lentement la matière afin d'obtenir des cristaux

Digitized by Google

dont il est aisé de reconnaître la nature, et l'on peut encore constater la présence du sublimé dans l'eau-mère. Si la quantité du sublimé est trop faible pour que la liqueur cristallise, on continue à la faire évaporer au bain-marie presque jusqu'à siccité afin de chasser l'excès d'acide, et lorsque le produit est refroidi, on en prend environ le tiers que l'on étend d'eau, et que l'on met en contact avec une ou plusieurs lames de cuivre, et l'on agit sur les deux autres tiers par l'éther, comme je l'ai dit tout-à-l'heure à l'occasion du charbon, etc. »

Dans un tel état de choses, au milieu de tant de procédés divers, dont les uns sont inapplicables, les autres longs et incomplets, et l'autre enfin regardé comme également trop long et trop compliqué, et ne présentant pas assez de bénéfices réels pour compenser ces inconvénients, nos auteurs résolurent de recourir à de nouveaux essais qui pussent les amener, sinon à la découverte d'un procédé, du moins à simplifier, à préciser les opérations y relatives, de telle façon que les personnes les moins expérimentées pussent elles-mêmes faire une expertise avec le même avantage. Or, pour détruire les matières animales, il s'agit de les carboniser; mais là justement est la question. Ils ne pouvaient plus songer, d'après ce que nous en avons dit, à la manière de M. Devergie; ils ne pouvaient pas songer non plus à carboniser simplement par le feu et à l'air libre, puisque alors le mercure se serait volatilisé; fallait-il donc, comme pour le procédé de M. Orfila, carboniser d'abord, puis recourir à la distillation? Non; car c'était précisément là ce qu'il fallait éviter pour simplifier l'opération. Ils ont donc généralisé la calcination par l'acide sulfurique, qu'ils avaient déjà employée pour la recherche des autres poisons minéraux, et ils s'y sont pris de la manière suivante : ils liquéfient à la température de 100 degrés à peu près les matières animales par le tiers ou la moitié de leur poids d'acide sulfurique monohydraté. Cela fait (au bout d'une heure et demie ou deux), ils laissent refroidir et versent dans la pâte liquide et noire, résultat de la carbonisation, du chlorure de chaux à saturation, en agitant le mélange dans le but de le blanchir, de le décolorer; et comme cette matière épaissit à mesure, ils y ajoutent peu à peu de l'eau distillée, qui, du reste, favorise l'action du chlorure. Dans cette manipulation, ils recommandent de ne s'arrêter que lorsqu'on juge à l'œil que le liquide à séparer par le filtre peut être incolore. La quantité de chlorure qu'ils emploient doit être en rapport avec celle d'acide sulfurique nécessaire à la liquéfaction, à la carbonisation des matières animales. Or, pour 100 grammes de foie, en raison de la bile et des graisses que con-

Digitized by Google

tient cet organe, il est quelquefois nécessaire d'employer 50 gramm. d'acide sulfurique et 50 grammes de chlorure de chaux. La matière parfaitement blanchie, ils l'humectent à froid avec de l'alcool absolu, *pour être plus sûrs d'atteindre le composé mercuriel;* ils l'étendent ensuite d'eau distillée, puis ils filtrent. Si le liquide est abondant, ils le concentrent à une douce température, et enfin ils le soumettent aux courants galvaniques dans l'appareil que nous avons indiqué plus haut, en suivant toutes les règles que l'on connaît déjà.

On le voit donc, ce procédé est beaucoup moins compliqué, puisque l'on se borne à faire trois opérations successives tout simplement qui consistent : 1° dans la carbonisation de la matière animale ; 2° dans la décoloration de la matière carbonisée que l'on étend d'eau après l'avoir un peu humectée avec de l'alcool et que l'on filtre ; 3° à soumettre le liquide à l'action galvanique, etc. ; tandis que le procédé de M. le doyen est un peu plus long, compliqué, et exige que l'on soit un peu plus au courant des expertises. Disons-le cependant, l'avantage qu'ils présentent, quoique réel, n'est pas tel que l'on doive proscrire celui que nous nous efforçons de mettre en parallèle. Maintenant, s'il nous fallait juger ces deux procédés au point de vue de la détermination plus ou moins exacte des quantités de mercure que l'on peut mettre à nu, nous dirions qu'avec le procédé de M. Orfila l'on peut sans contredit avoir le premier rang, et que celui qui nous occupe serait au contraire plus capable d'en faire découvrir des quantités infinitésimales. Expliquons-nous en deux mots : supposons qu'un empoisonnement ait eu lieu avec une dose ordinaire d'une préparation mercurielle, eh bien, nous pensons qu'avec le procédé de M. Orfila on pourrait retirer une plus forte proportion de mercure des organes, et que, par conséquent, on pourrait peut-être par là être plus à même d'évaluer approximativement cette quantité, tandis que, dans le cas contraire, où une faible dose aurait pu occasionner la mort, le procédé de MM. Flandin et Danger offrirait plus de *sensibilité* pour déceler le mercure.

Nous ne nous étendrons pas plus longtemps sur ce mémoire, et nous nous abstiendrons de toute réflexion pour conclure immédiatement.

Nous regardons le mémoire de MM. Flandin et Danger comme étant fait avec conscience, mais incomplet en ce qui concerne les questions de l'absorption et de la transformation des préparations mercurielles en métal dans les tissus, ayant ou après la mort. Espérons que ces auteurs infatigables nous feront bientôt connaître

Digitized by Google

le résultat de leurs nouvelles recherches à cet égard, lesquelles hâteront sans aucun doute la solution de ces deux importantes questions. Quant à la partie purement pratique et expérimentale, nous l'avons exposée assez longuement, et chacun peut en juger.

Nous aurions bien voulu pouvoir revenir un peu sur la question de l'acide arsénieux à propos de deux affaires, celle qui vient d'être jugée à Valence, et d'une seconde qui va être présentée à Pantin, où il s'agit d'un empoisonnement par l'arsenic, après l'usage de ce poison comme médicament topique; mais l'espace et le temps nous faisant défaut, force nous est bien de renvoyer à un autre article.

Digitized by Google

SUR L'ESSENCE

DE TÉRÉBENTHINE PROPRE A DISSOUDRE PLUS FACILEMENT LE CAOUTCHOUC.

Par M. Bouchardat.

Il y a dix ans bientôt que je fus consulté par un fabricant d'étoffes imperméables pour rechercher le dissolvant le plus convenable du caoutchouc. A cette époque, on se servait en Angleterre, pour dissoudre cette substance, soit de l'huile essentielle obtenue en distillant le goudron de la houille, soit de l'huile qu'on obtient par la propre distillation du caoutchouc à feu nu.

Je commençai par soumettre à une étude attentive cette huile pyrogénée, j'en séparai plusieurs hydrogènes carbonés bien définis et remarquables par leur point d'ébullition peu élevé; mais je ne tardai point à me convaincre que si l'huile pyrogénée du caoutchouc est un excellent dissolvant de cette substance, son prix de revient s'opposera longtemps à son emploi en fabrique. L'huile essentielle obtenue par la distillation du goudron a une odeur si persistante, si tenace, il est si difficile d'en débarrasser les étoffes, que je me décidai à chercher un autre dissolvant.

Dès l'abord, je pensai à un hydrogène carboné naturel (l'essence de térébenthine), qui déjà dissout, comme chacun le sait, le caoutchouc; j'espérais qu'en le modifiant par la chaleur on pourrait augmenter ses propriétés dissolvantes. L'expérience confirma mes prévisions. En distillant cette essence une fois ou deux à feu nu, on obtient un dissolvant qui donne des résultats satisfaisants. Je remarquai aussi qu'en effectuant cette distillation sur de la brique, l'essence étant soumise à une température plus élevée, on obtenait un liquide qui ne le cédait que peu, comme dissolvant, à l'huile pyrogénée du caoutchouc.

Le fabricant qui m'avait consulté s'empressa de mettre à profit les résultats que j'avais obtenus, et, m'étant réservé le droit de les publier, je les fis connaître dans mon mémoire sur les produits de la distillation du caoutchouc, inséré dans le tome XXIII du *Journal de Pharmacie*. Depuis ce temps, l'essence de térébenthine modifiée par une ou deux distillations à feu nu est le dissolvant du caout-

Digitized by Google

chouc employé par les fabricants d'étoffes imperméables de France ou d'Angleterre.

Voici d'abord les propriétés physiques que présente l'essence de térébenthine distillée à feu nu sur de la brique. Sa couleur est légèrement jaunâtre ; son odeur participe de celle du thym, de l'huile de naphte et de l'essence de térébenthine ; elle est plus légère que l'essence qui l'a formée ; tandis que la densité de cette dernière est de 0,8726, elle n'est plus que de 0,8420 après sa distillation. Elle commence à bouillir à 85 degrés centigrades ; mais la température s'élève presque aussitôt à 154 degrés centigrades pour y rester à peu près stationnaire. J'ai recherché s'il n'était pas possible d'isoler ces premières parties plus volatiles ; mais, malgré les plus grands soins et les meilleurs mélanges réfrigérants, je n'ai pu en séparer qu'une portion très petite et insuffisante pour en faire un examen utile. La presque totalité de l'essence modifiée bout à 154 degrés centigrades, tandis qu'avant sa distillation sur la brique, son point d'ébullition variait de 156 à 158 degrés centigrades. J'ai analysé l'huile modifiée, et sa composition était exactement la même que celle de l'essence primitive.

ENGRAIS MINÉRAUX.

1° *Carbonates de potasse et de soude.* — Les cendres perlées et la soude du commerce n'ont pas été beaucoup employées, en agriculture, dans l'état où elles sont vendues : cependant ces deux sels favorisent éminemment la croissance des fraisiers, et l'on peut maintenant obtenir le carbonate de soude à assez bon marché (30 fr. les 100 kil.) pour les essayer, comme engrais en couverture, sur le trèfle et les prairies, particulièrement sur celles qui sont vieilles et infestées par les mousses. Cet essai présente beaucoup de chance de succès. Le sel doit être dissous dans une grande quantité d'eau et répandu avec des voitures à tonneaux.

2° *Nitrates de potasse et de soude.* — C'est avec raison que l'on a recommandé l'emploi du salpêtre et du nitrate de soude ; l'action qu'ils exercent sur la végétation en général, et particulièrement sur le développement des jeunes plantes, est fort avantageuse. Les plantes arrosées avec une solution de ces sels se distinguent par la magnifique couleur vert foncé qu'ils communiquent aux feuilles.

Digitized by Google

On peut appliquer les nitrates de soude et de potasse sur les plantes fourragères et les jeunes céréales, en doses de 100 à 125 kil. à l'hectare; on prétend même que les jeunes sapins en sont bénéficiés. L'acide nitrique, qui est combiné avec les bases, fournit de l'azote aux plantes, tandis que la potasse et la soude se trouvent à portée de leurs racines, et, sans aucun doute, jouent un rôle fort avantageux pour la plante.

3° *Sulfate de soude, ou sel de Glauber.* — Il a été dernièrement recommandé en Angleterre pour le trèfle, les plantes fourragères et les récoltes vertes. Mélangé avec le nitrate de soude, cet engrais donne de magnifiques récoltes de pommes de terre.

4° *Sulfate de chaux, ou sel d'Epsom.* — On pourrait l'utiliser en agriculture, en l'appliquant sur le trèfle et les jeunes céréales. Comme il est facile de l'obtenir en cristaux purs au prix de 25 fr. les 100 kil., ou bien impur, dans les fabriques d'alun, à un prix bien moins élevé, on pourrait facilement en faire l'essai.

5° *Sulfate de chaux, ou gypse.* — En Allemagne, on l'emploie avec succès, pour les prairies, sur de vastes étendues du pays. Dans les États-Unis d'Amérique, on s'en sert pour fumer toute espèce de récolte; il convient particulièrement au trèfle et aux légumineuses. Chacun de ces trois sels fournit du soufre aux plantes, qui s'approprient directement une partie de la chaux, de la soude et de la magnésie, tandis que le reste sert à préparer d'autres aliments ou à les faire passer dans la sève ascendante.

Bien qu'il n'y ait aucun doute que les sels dont nous venons de parler ou d'autres substances analogues soient réellement utiles, le lecteur ne devra pas s'étonner d'entendre dire ou d'apprendre par sa propre expérience qu'en telle ou telle localité la terre ne s'est pas ressentie avantageusement d'une fumure avec telle ou telle substance minérale. Quand un maçon a autour de lui autant de briques qu'il lui en faut, on devra lui apporter du mortier pour qu'il puisse continuer son ouvrage; de même, si une terre contient naturellement une assez grande abondance de gypse ou de sulfate de magnésie, c'est une prodigalité à la fois absurde et inutile que de chercher à l'améliorer en y ajoutant une nouvelle quantité de ces substances, et il est encore plus absurde de conclure qu'il n'est pas probable que l'emploi de ces mêmes sels dans d'autres localités réussisse à un expérimentateur patient.

6° *Sel marin.* — Il exerce, dans un grand nombre de localités,

Digitized by Google

une influence fertilisante sur le sol. L'agriculteur théoricien sait qu'une petite quantité de sel marin est absolument nécessaire pour que toutes nos plantes cultivées croissent avec vigueur, et il devra essayer de bonne heure, sur l'un de ses champs, si le sol réclame l'addition de ce sel. Il est probable que c'est dans les positions abritées, à l'intérieur des terres et sur les hauteurs souvent lavées par les pluies, que l'action du sel marin doit se faire le mieux apprécier. Dans beaucoup de localités où les vents de mer prédominent, il est reconnu que les gouttelettes d'eau salée entraînées par les vents à de grandes distances suffisent pour fournir au sol, chaque année, une abondante provision de sel marin.

6° *Caillottis.* — Rigoureusement, on ne devrait pas classer le caillottis parmi les substances minérales, puisqu'il se compose des cendres qui proviennent de la combustion du goëmon : cependant, comme il participe de la nature des minéraux, nous pouvons en dire quelques mots ici. Le caillottis renferme de la potasse, de la soude, de la silice, du soufre, du chlore et quelques autres principes inorganiques des plantes, qu'elles exigent comme aliments. A l'exception de la matière organique qui disparaît pendant la combustion, le caillottis contient les mêmes substances que le goëmon, dont les effets sont si remarquables. Dans les îles occidentales de la Grande-Bretagne, on a coutume de brûler à demi ou de charbonner le goëmon ; par ce procédé, on l'empêche de se dissoudre, et on l'obtient sous forme d'une poudre noire fine. En employant de l'engrais ainsi préparé, on doit combiner l'action fertilisante des sels contenus dans le caillottis, avec les propriétés remarquables que possèdent le charbon animal et le charbon végétal. Dans l'île de Jersey, le goëmon est desséché pour être employé comme combustible dans les ménages ; on considère les cendres qui en proviennent comme très efficaces pour détruire les vers.

8° Les *cendres de bois* contiennent, entre autres matières, de la cendre perlée impure, avec du sulfate et du silicate de soude. Ces sels ont une grande valeur comme engrais et comme stimulants ; de là l'usage considérable que l'on fait des cendres de bois, comme engrais, dans tous les pays où l'on peut facilement se les procurer. Les cendres de bois conviennent principalement au trèfle, aux haricots et aux autres légumineuses.

9° *Cendres lessivées.* — Pour obtenir la potasse du commerce, on lessive les cendres de bois jusqu'à ce qu'il n'y reste plus de matières solubles, et on fait évaporer la solution jusqu'à siccité ;

Digitized by Google

mais il reste toujours une forte proportion de cendre qui ne se dissout pas, et, dans les pays ou l'on brûle beaucoup de bois pour fabriquer de la potasse, on obtient une grande quantité de résidus de lessive. Ces résidus contiennent du silicate, du phosphate et du carbonate de chaux, et ils exercent une action remarquable sur les récoltes d'avoine; ils conviennent particulièrement aux terres argileuses; appliqués en grandes doses (de 1,500 à 3,000 kil. à l'hectare), on a vu leurs effets se faire sentir pendant quinze ou vingt ans.

10° *Cendres de paille.* — En Angleterre, on brûle rarement la paille pour en retirer les cendres; en Allemagne, il n'est pas rare que l'on brûle de la paille de seigle et qu'on emploie les cendres comme engrais en couverture. La paille est épandue sur le sol pour sécher, on y met le feu, et les cendres sont enfouis par un labour. Dans plusieurs contrées, aux États-Unis par exemple, on brûle souvent la paille et on jette les cendres aux vents. Il est certain que, lorsqu'il est trop difficile de faire fermenter la paille dans les cours, on peut s'éviter du travail en la faisant brûler et en répandant les cendres sur le champ qui l'a produite. Le sol se montrera reconnaissant de ce traitement.

11° *Cendres de cannes à sucre.* — Les mêmes remarques s'appliquent aux cendres de cannes à sucre. Quand les cannes ont été broyées et privées de leur sucre, on les utilise pour cuire le sirop; les cendres qui résultent de la combustion abondent en silicates, sans lesquels la canne à sucre ne peut croître avec vigueur. Sans avoir moi-même visité nos plantations des Indes occidentales, je puis, avec sécurité, avancer l'opinion que l'épuisement du sol dont se plaignent les planteurs doit être, en grande partie, attribué à la perte de ces cendres, et que, s'ils les ramassaient soigneusement pour les restituer au sol, ils pourraient se dispenser de faire d'aussi fortes importations d'engrais étrangers.

12° *Cendres de Hollande.* — C'est le produit de la combustion de la tourbe qu'on brûle pour en appliquer les cendres au sol. Leur composition varie suivant l'espèce de tourbe dont elles proviennent; elles renferment souvent des traces de potasse et de soude; en général, elles contiennent aussi une certaine proportion de gypse et de carbonate de chaux, une trace de phosphate de chaux et beaucoup de matières siliceuses. Dans tous les pays où la tourbe abonde, on a plus ou moins généralement reconnu la valeur des cendres de tourbe comme engrais.

Digitized by Google

MÉMOIRE SUR LA TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRIQUE.

PARTIE HISTORIQUE.

L'idée d'employer l'électricité comme moyen télégraphique n'est pas nouvelle.

PREMIÈRE ÉPOQUE.

Lesage.

En 1774, dit-on, un savant d'origine française, Lesage, établit à Genève un télégraphe électrique composé de vingt-quatre fils métalliques, séparés les uns des autres et noyés dans une matière isolante. Chaque fil correspondait à un électromètre particulier, formé d'une petite balle de sureau suspendue à un fil. En mettant une machine électrique en communication avec tel ou tel de ces fils, la balle de l'électromètre qui y correspondait était repoussée, et le mouvement désignait la lettre de l'alphabet ou le signal conventionnel quelconque que l'on voulait transmettre.

Lomond.

Dans la relation du voyage qu'Arthur Young fit en France pendant l'année 1787, on trouve la description d'une expérience de télégraphie électrique faite par M. Lomond, qui employait pour représenter différents signes les degrés de divergence de l'électromètre : voici le passage original, t. I, p. 212 : « M. Lomond a fait une découverte remarquable dans l'électricité. Vous écrivez deux ou trois mots sur du papier, il les prend avec lui dans une chambre, et tourne une machine dans un étui cylindrique, au haut duquel est un électromètre avec une jolie petite balle de moelle de plume : un fil d'archal est joint à un pareil cylindre et électriseur dans un appartement éloigné; et sa femme, en remarquant les mouvements de la balle qui correspond, écrit les mots qu'ils indiquent, d'où il paraît qu'il a formé un alphabet du mouvement. Comme la longueur

Digitized by Google

du fil d'archal ne fait aucune différence sur l'effet, on pourrait entretenir une correspondance de fort loin : par exemple, avec une ville assiégée, ou pour des objets beaucoup plus dignes d'attention ou mille fois plus innocents.»

Reiser.

Reiser, en Allemagne, proposa en 1794, dans le Magasin de Voigt, vol. IX, p. 1, d'éclairer à distance, au moyen d'une décharge électrique, les diverses lettres de l'alphabet, que l'on aurait découpées d'avance sur des carreaux de verre recouverts de bandes d'étain. L'étincelle électrique devait se transmettre par autant de fils renfermés dans des tubes de verre qu'il y avait de lettres.

Salva.

Voici cette fois un document authentique. On trouve dans la *Gazette de Madrid* du 25 novembre 1796 : « Le prince de la Paix, ayant appris que M. D. F. Salva avait lu à l'Académie des sciences un mémoire sur l'application de l'électricité à la télégraphie, et présenté en même temps un télégraphe électrique de son invention, a voulu l'examiner, et, charmé de la promptitude et de la facilité avec lesquelles il fonctionnait, il l'a fait voir au roi et à la cour ; lui-même l'a fait fonctionner. A la suite de cette expérience, l'infant don Antonio a voulu faire un autre télégraphe plus complet, et s'est occupé de calculer quelle force d'électricité il faudrait pour se servir du télégraphe à diverses distances, soit sur terre, soit sur mer. Des expériences utiles ont eu lieu, nous en parlerons plus tard. » Le recueil périodique de Voigt faisait-il allusion à ces expériences quand il annonçait, deux ans après, que l'infant don Antonio avait fait construire un télégraphe réel sur une très grande échelle et une très grande étendue? On ajoutait même que le jeune prince fut nuitamment informé, au moyen de son télégraphe, d'une nouvelle qui l'intéressait vivement.

Cavallo.

Dans la quatrième édition de son *Traité de l'électricité*, publié en 1795, vol. III, pag. 285, Cavallo proposa d'employer, pour transmettre un signal, l'inflammation de plusieurs substances combustibles ou détonantes, la poudre, le phosphore, l'hydrogène phosphoré, etc., et d'appeler l'attention du correspondant par l'explosion d'une bouteille de Leyde.

Digitized by Google

Betancourt.

En Espagne encore, vers 1787, Betancourt aurait tenté d'appliquer l'électricité à la production des signaux éloignés, en se servant de bouteilles de Leyde, dont il faisait passer la décharge dans des fils allant d'Aranjuez à Madrid.

Ronalds.

Mais les appareils de télégraphie par l'électricité statique les plus ingénieux et les plus complets furent inventés par un Anglais, Francis Ronalds. Ses expériences ont été publiées en 1823, dans un petit volume in-8°. On affirme qu'une des parties de son appareil consistait dans un disque mobile, portant des caractères qui venaient se présenter à volonté devant un petit guichet. La distance à laquelle les signaux étaient transmis par un fil métallique aurait été de huit milles anglais.

DEUXIÈME ÉPOQUE.

Tous les projets que nous venons d'énumérer, même ceux qui passèrent de l'état d'idée à la condition d'appareil d'essai, employaient comme agent l'électricité statique, ou de tension, développée par le frottement, dégagée par les machines électriques ordinaires, les bouteilles de Leyde ou des batteries : or, l'emploi d'un agent si inconstant, si capricieux, si inégal, si impuissant, si difficile à contenir, est réellement chimérique et impossible, au moins sur une grande échelle. On n'essaierait pas sans déraison de le réaliser en dehors d'un cabinet de physique, sur une grande échelle. Les auteurs de ces projets ne peuvent donc pas être reconnus comme les inventeurs de la télégraphie électrique, devenue un instrument d'application réelle et facile, un appareil usuel.

En 1800, l'illustre Volta découvrit la nouvelle source et la nouvelle forme d'électricité qui porta d'abord son nom, et que l'on a désignée depuis sous le nom d'électricité dynamique. Cette électricité, qui se montre à nous sans tension, c'est-à-dire sans tendance à abandonner les conducteurs métalliques dans lesquels elle circule, se manifesta dès son origine par des phénomènes vraiment étonnants, de combustion, de lumière, de décomposition chimique, de commotions physiologiques, qui sont devenus le point de départ de presque tous les télégraphes électriques tentés jusqu'en 1820.

Digitized by Google

Sœmmerring.

Sœmmerring proposa en 1811, dans une des séances de l'Académie de Munich, un plan complet de télégraphe, fondé sur l'emploi comme moyen indicateur de la décomposition de l'eau par la pile. Voici la description abrégée de son appareil, qui fut une période remarquable dans l'histoire que nous esquissons.

Sur le fond d'un vase de verre reposant sur un pied, il fixa trente-cinq pointes d'or, que l'on désigna en partie par les vingt-cinq lettres de l'alphabet allemand, en partie par les dix chiffres de 0 à 9.

Chacune de ces trente-cinq pointes se prolongeait suivant un conducteur en cuivre, terminé par un petit cylindre en laiton ; au milieu du petit cylindre se trouvait une rainure destinée à recevoir un petit crochet, auquel pouvaient se fixer les fils qui devaient unir la pointe correspondante avec le pôle positif ou négatif de la pile.

Les trente-cinq cylindres étaient fixés, comme les pointes d'or du vase, sur un support particulier, de telle sorte que les deux extrémités de chacun des deux conducteurs correspondaient à la même lettre ou au même chiffre.

Si, maintenant, on mettait l'appareil disposé comme dans la figure jointe à ce mémoire, dans le circuit d'une pile électrique, on voyait aussitôt des bulles de gaz apparaître aux deux pointes qui correspondent aux deux petits cylindres auxquels sont fixés les fils conducteurs de la pile. Ainsi tout étant disposé comme dans la figure, il se formait de l'hydrogène à la pointe *k*, et de l'oxigène à la pointe *t*.

Il est évident que l'on pouvait ainsi désigner à distance toute lettre qu'on voulait.

Il est à remarquer que l'on indiquait à la fois deux lettres ; Sœmmerring admettait que l'hydrogène le plus abondant des deux gaz désignait la première, et l'oxigène la seconde. Quand on devait transmettre simultanément deux fois la même lettre, on avait recours au zéro. Ainsi le mot *nenni* se transmettrait *ne* — *n*0 — *ni*. Pour indiquer la fin d'un mot on recourait au chiffre 1, que l'on aurait pu remplacer par une croix.

Sœmmerring ne put déterminer dans ses expériences, trop peu importantes, la vitesse avec laquelle le fluide électrique se transmettait. Il rappela les expériences de Gray, Dufay, Le Monnier et Watson sur la vitesse de l'électricité développée par les machines ordinaires, desquelles il résultait seulement, suivant Watzon, que

Digitized by Google

la vitesse de propagation de l'électricité est incomparablement plus grande que celle du son. Il s'assura par ses petits essais qu'une différence de 2,000 pieds dans la longueur du conducteur ne produisait pas un retard appréciable. Quand le courant avait traversé un conducteur de 2,248 pieds de longueur, la décomposition de l'eau commençait instantanément. Il serait très intéressant, ajoutait le physicien allemand, d'arriver à déterminer, à l'aide d'expériences faites sur une grande échelle, la vitesse d'un courant galvanique pour la comparer à la vitesse de la lumiere.

Sœmmerring isolait les trente-cinq fils en les recouvrant de soie; il enduisait de vernis le faisceau qui résultait de leur ensemble. Le fluide électrique les traversait alors sans la moindre difficulté et sans aucun trouble. La pile employée était, comme la planche jointe à ce mémoire l'indiquera, la pile à colonne.

Les avantages du télégraphe électrique sont très bien énumérés dans le mémoire que nous analysons. Son emploi, disait Sœmmerring, n'est pas borné au jour, il s'étend à la nuit; il n'est arrêté ni par le brouillard ni par les nuages, de sorte qu'il rend cinquante fois au moins plus de services que le télégraphe ordinaire. Son action peut s'étendre à des distances quelconques, sans stations intermédiaires; il peut fonctionner sans que personne s'en aperçoive; il n'est plus dès lors condamné à transmettre des caractères cryptographiques; il peut au contraire tout exprimer par lettres avec une rapidité et une économie de temps incalculables; il n'exige aucune construction particulière, et peut aboutir à telle chambre ou à tel cabinet qu'on voudra; les dépenses qu'il entraîne sont incomparablement plus petites.

Schweiger.

Sœmmerring avait oublié d'indiquer par quel procédé il réveillait l'attention du correspondant; Schweiger, dans son curieux appendice, rappelle d'abord qu'on atteindrait ce but par un pistolet de Volta qu'on ferait détoner au moyen d'une batterie ajoutée à la pile; mais ce serait évidemment rentrer dans toutes les difficultés de l'électricité de tension. Il ajoute qu'on diminuerait considérablement et avec un immense avantage le nombre des signes, si, au lieu d'une seule pile, l'on en employait deux, l'une beaucoup plus forte, l'autre plus faible, et qu'on fît agir tantôt l'une, tantôt l'autre, ou même les deux réunies. Si de plus, dit Schweiger, on fait entrer en considération le temps pendant lequel les gaz se dégagent, ainsi que les interruptions plus ou moins longues, et aux

Digitized by Google

quelles succéderait l'action tantôt de la grande, tantôt de la petite pile, on pourrait certainement n'employer que deux fils au lieu des trente-cinq fils de Sœmmerring ; ce qui centuplerait les avantages du télégraphe, en rendant les observations plus faciles et plus sûres, etc., etc. Schweiger entre ensuite dans quelques détails sur les méthodes à suivre pour établir les communications, et termine par des détails pleins d'intérêt sur la manière d'écrire les indications télégraphiques, au moyen de caractères que l'on presserait contre un papier blanc, recouvert d'un papier chargé de sanguine ou de noir de fumée. C'est précisément le mode employé plus tard par M. Wheatstone ; mais il restait un pas immense à faire, c'était de créer à volonté et à distance la force qui devait presser le caractère.

Je suis entré dans quelques détails au sujet de l'appareil imaginé par Sœmmerring, parce qu'il était vraiment capital.

Coxe.

Le professeur Coxe, de Philadelphie, exprima aussi en 1810, dans les *Annales de philosophie* de Thompson, l'idée d'appliquer la pile voltaïque à des communications télégraphiques, en déterminant par cet agent la décomposition de l'eau ou des sels métalliques à des distances plus ou moins éloignées de l'appareil. Mais l'action de la pile manifestée par des étincelles, ou la décomposition des substances chimiques, était au fond réellement inapplicable, d'autant plus que la pile à effet constant n'était pas inventée, et que les piles les plus énergiques perdaient alors en quelques heures presque toute leur intensité.

TROISIÈME ÉPOQUE.

En 1819, le célèbre Œrsted découvrit que l'aiguille d'une boussole placée au-dessus ou au-dessous d'un circuit voltaïque ayant la même direction, c'est-à-dire circulant du sud au nord, se déviait de sa position normale et tendait à se mettre en croix avec le courant. Il constata en outre cette particularité plus remarquable encore du phénomène : au-dessus de l'aiguille, le courant dévie le pôle austral à l'occident, quand il vient lui-même du sud au nord ; et il le dévie à l'orient, quand il vient au contraire du nord au sud. Quand le courant passe au-dessous de l'aiguille, les effets sont précisément inverses, c'est-à-dire que le pôle austral est poussé à l'orient quand le courant va du sud au nord, et poussé à l'occident quand il vient du nord au sud. Pour exprimer d'une manière plus

Digitized by Google

générale et plus précise à la fois le sens de la déviation, Ampère avait imaginé l'artifice suivant : il concevait qu'une petite figure d'homme était couchée le long du conducteur, les pieds du côté du pôle zinc, et la tête du côté du pôle cuivre, de telle manière que le courant allant du zinc au cuivre, entrât par les pieds et sortît par la tête ; il supposait de plus que la petite figure avait toujours la face tournée vers le milieu de l'aiguille sur laquelle agissait le courant : alors l'effet du courant est tel que l'aiguille, en se plaçant en croix, a toujours son pôle austral vers la gauche de la petite figure.

La force par laquelle le courant agit sur l'aiguille aimantée s'appela force électro-magnétique. Peu de temps après la découverte d'Œrsted, Schweiger apprit à la rendre beaucoup plus sensible à l'aide d'un instrument qui tira son nom de sa propriété fondamentale, et qui est connu sous le nom de *multiplicateur*. Cet instrument, qui est d'une sensibilité merveilleuse pour mettre en évidence les moindres traces de l'électricité dynamique, repose sur ce fait, qu'un courant rentrant sur lui-même agit par toutes ses parties pour diriger dans le même sens une aiguille aimantée qu'il enveloppe de toutes parts. Un fil conducteur enroulé sur lui-même et formant cent tours doit, dès lors, quand il est traversé par le même courant, produire un effet cent fois plus grand qu'un fil d'un seul tour, pourvu toutefois que le fluide électrique parcoure toutes les circonvolutions du fil sans passer latéralement d'un contour à l'autre ; c'est une condition facile à remplir. Pour faire donc un multiplicateur, on prend un fil d'argent ou de cuivre rouge plus ou moins long, d'un diamètre plus ou moins petit, et revêtu d'un fil de soie dont les tours sont très serrés ; on l'enroule sur un petit cadre en bois ou en cuivre, à peu près comme du fil sur une bobine : seulement, on laisse libre une certaine longueur à chaque extrémité ; c'est ce qu'on appelle *les deux fils du multiplicateur :* le courant doit entrer par l'un et sortir par l'autre ; l'aiguille, qui doit être déviée, est suspendue sur un pivot ou à un fil de coton.

Cette découverte si féconde du physicien danois, considérée sous le point de vue de la télégraphie électrique, était réellement un pas immense. Elle substituait à la manifestation pénible et obscure obtenue par la décomposition chimique un caractère aussi simple que saillant, la déviation des aiguilles ; cette nouvelle indication était même multiple, puisque la déviation suivant la direction ou la position du courant par rapport à l'aiguille avait lieu dans un sens ou dans un autre. Le télégraphe de Sœmmerring pouvait par là se simplifier beaucoup. Fechner entrevit presque aussitôt cette possibilité, qui n'échappa pas non plus à notre illustre Ampère.

Digitized by Google

Ampère.

Voici comment ce savant s'en explique dans un mémoire présenté à l'Académie royale des sciences le 2 octobre 1820, *Annales de physique et de chimie*, t. XV, p. 72 :

« On doit conclure de ces observations que les tensions électriques des extrémités de la pile ne sont pour rien dans les phénomènes dont nous nous occupons ; car il n'y a certainement pas de tension dans le reste du circuit, ce qui est encore confirmé par la possibilité de faire mouvoir l'aiguille aimantée à une grande distance de la pile, au moyen d'un conducteur très long dont le milieu se recourbe dans la direction du méridien magnétique, au-dessus et au-dessous de l'aiguille. Cette expérience m'a été indiquée par le savant illustre Laplace, auquel les sciences physico-mathématiques doivent surtout les grands progrès qu'elles ont faits de nos jours : elle a parfaitement réussi.... D'après le succès de cette expérience, on pourrait, au moyen d'autant de fils conducteurs et d'aiguilles aimantées qu'il y a de lettres, et en plaçant chaque lettre sur une aiguille différente, établir, à l'aide d'une pile placée loin de ces aiguilles, et qu'on ferait communiquer alternativement par ses deux extrémités à celles de chaque conducteur, former une sorte de télégraphe propre à écrire tous les détails qu'on pourrait transmettre à travers quelques obstacles que ce soit à la personne chargée d'observer les lettres placées sur les aiguilles. En établissant sur la pile un clavier dont les touches porteraient les mêmes lettres et établiraient la communication par leur abaissement, ce moyen de correspondance pourrait avoir lieu avec assez de facilité, et n'exigerait que le temps nécessaire pour toucher d'un côté et lire de l'autre chaque lettre. »

C'était évidemment l'idée de Sœmmerring modifiée, et M. Arago le fit observer lors de la lecture du mémoire.

Si l'on se rappelle que, par l'emploi de deux piles, les fils du télégraphe de Sœmmerring pouvaient, suivant la remarque de Schweiger, être réduits à deux, on en conclura que dès 1820 le télégraphe électrique eût été vraiment réalisable, si l'on avait pu parer dès lors à deux inconvénients très graves, l'action irrégulière des piles, et surtout la décroissance rapide de leur intensité.

L'ingénieux instrument de Schweiger fournissait donc le moyen de compenser la faiblesse de la pile ; mais, même avec le multiplicateur, la déviation de l'aiguille n'était que la simple manifestation du courant sans création de forces nouvelles. Or, dans ces condi-

Digitized by Google

tions, le télégraphe électrique ne pouvait pas encore atteindre une utilité pratique : aussi ne fut-il réalisé qu'en petit.

Richtie et Alexander.

On a affirmé que Richtie construisit sur une petite échelle le télégraphe de Sœmmerring, modifié suivant les idées d'Ampère ; il n'en est rien : seulement, dans une lecture qu'il fit à l'Institution royale, il donna quelques développements sur ce projet de télégraphie, en exprimant toutefois des doutes sérieux sur la possibilité de rendre la télégraphie électrique praticable. Ce télégraphe ne fut exécuté et montré en public qu'en 1837 par M. Alexander, d'Édimbourg. Il avait la forme d'une caisse renfermant trente fils de cuivre répondant aux vingt-six lettres de l'alphabet, à trois points, et à un astérisque destiné à dénoter la fin de chaque mot. A une de leurs extrémités, les fils étaient en communication avec des touches semblables à celles d'un forte-piano ; au-dessous de chacune de ces touches se trouvaient deux lames, l'une de cuivre, l'autre de zinc, formant un couple voltaïque. Les fils, à leur autre extrémité, étaient en relation avec trente aiguilles magnétiques. Quand on frappait sur une des touches, le courant s'établissait, l'aiguille correspondante était déviée à droite ou à gauche, et découvrait, en déplaçant un écran, la lettre que l'on voulait indiquer. Dès que l'on retirait le doigt, le courant cessait, l'aiguille, en revenant à sa position, ramenait l'écran et recouvrait la lettre. Chaque lettre pouvait de cette manière être montrée à distance instantanément, et l'opérateur pouvait, à volonté, épeler tous les mots. Comme le courant exige un circuit fermé ; en d'autres termes, comme le courant doit revenir à la pile qui lui a donné naissance, il semble que M. Alexander aurait dû employer nécessairement soixante fils ; mais, par un mécanisme ingénieux, il obtint que tous les courants se fermeraient à l'aide d'un fil unique, ou que tous les retours à la pile se feraient par un même fil additionnel.

Tous ces essais ne pouvaient pas faire faire un pas à la télégraphie pratique ; elle ne pouvait devenir possible qu'à la condition que la science de l'électricité dynamique ferait encore quelque grandes conquêtes : ces conquêtes ne se firent pas attendre.

QUATRIÈME ÉPOQUE.

Immédiatement après la brillante observation d'Œrsted, Ampère découvrit que les courants galvaniques exerçaient l'un sur

Digitized by Google

l'autre une action dynamique; que cette action était différente, suivant que les deux courants cheminaient dans le même sens ou en sens contraire; mais que, quelle que fût la direction des deux fils conducteurs, ils s'attiraient lorsque les deux courants s'approchaient à la fois ou s'éloignaient de la perpendiculaire commune aux directions rectilignes des deux fils, se repoussaient lorsque l'un des courants tendait vers la perpendiculaire, tandis que l'autre s'en éloignait. Il prouva plus tard qu'un fil de cuivre recouvert de soie, enroulé en hélice et parcouru par un courant, se comportait comme un courant : de telle sorte que ce petit appareil, qu'Ampère appelait un *solénoïde*, pouvait remplacer parfaitement une aiguille aimantée. Cette découverte si féconde n'ajouta rien à la télégraphie électrique, parce que l'emploi des aiguilles aimantées est plus facile que celui des solénoïdes.

M. Arago mit le premier en évidence, vers la même époque, les propriétés magnétisantes des courants électriques. Il vit d'abord que si l'on plongeait dans de la limaille une portion du fil qui joint les deux pôles d'une pile, la limaille s'enroulait autour du fil et y restait adhérente tant que le courant passait; elle se détachait et tombait aussitôt que le circuit était rompu. Il vit encore que de petites aiguilles d'acier présentées au courant s'y attachaient en se mettant en croix avec lui, et conservaient leur magnétisme quand on les en séparait. Il était naturel de penser, d'après les premières expériences d'Ampère, que pour donner au courant toute son efficacité magnétisante, il fallait le faire passer transversalement autour des aiguilles, en plaçant ces dernières dans un tube de verre sur lequel un fil de métal s'enroulerait en hélice, ou plus simplement dans l'hélice formée par un fil de cuivre entouré de soie. C'est ce que firent MM. Arago et Ampère. Un seul instant suffisait pour aimanter les aiguilles complétement. La rapidité ou plutôt l'instantanéité avec laquelle le courant surmonte la force coercitive est un phénomène très remarquable. La position des pôles est déterminée par la direction des spires de l'hélice; or l'on distingue deux espèces d'hélice : l'hélice *dextrorsum*, dans laquelle le fil s'enroule vers la droite, et l'hélice *sinistrorsum*, dans laquelle il s'enroule vers la gauche. Dans l'hélice *dextrorsum*, le pôle boréal de l'aiguille est toujours à l'extrémité par laquelle entre le courant, ou bien à l'extrémité positive du fil; dans l'hélice *sinitrorsum*, au contraire, c'est le pôle austral de l'aiguille qui se trouve à l'extrémité positive. Lorsqu'on met à la suite l'une de l'autre plusieurs hélices de sens contraire, l'aiguille offre alors dans son magnétisme un point

Digitized by Google

conséquent ou neutre, à la jonction des deux hélices : ainsi chacune d'elles agit encore comme si elle était seule. Quand l'aiguille placée dans l'hélice est d'acier, son aimantation persiste, elle devient réellement une aiguille aimantée ordinaire. Elle n'aurait été aimantée que temporairement si elle avait été en fer, son aimantation aurait cessé immédiatement avec la rupture du courant.

Le fait de l'aimantation au moyen de la pile était plus important encore et plus riche d'avenir que le fait de déviation observé par Œrsted. Joint au principe du multiplicateur de Schweiger, il fournissait le moyen de transformer le fer doux en aimants d'une très grande puissance, aimants d'autant plus avantageux que, ne tirant leur force que de la présence du courant, ils peuvent se faire et se défaire en un instant autant de fois que l'on veut, puisqu'il suffit pour cela de fermer le courant ou de le rompre. Ces aimants artificiels s'appelèrent *électro-aimants*. Ils se composent en général d'un fer à cheval dont les deux branches sont enveloppées d'un très long fil de cuivre recouvert de soie, enroulé comme dans le multiplicateur. Il paraîtrait que M. Sturgeon aurait eu le premier l'idée de ces puissants électro-aimants. Celui de M. Pouillet, construit en 1831, portait aisément plus de mille kilogrammes quand le courant était produit par une pile de vingt-quatre couples. M. Henry, aux États-Unis, et M. Robert, à Manchester, ont obtenu des résultats véritablement incroyables : des électro-aimants temporaires supportaient un poids de plusieurs tonneaux. Nous verrons tout-à-l'heure le parti que l'on a tiré de cette découverte dans la télégraphie électrique.

En 1831, M. Faraday fit faire de son côté à la science un pas de géant en découvrant les phénomènes d'induction. Il démontra que lorsqu'un circuit conducteur fermé commence à recevoir dans quelques uns de ses points l'action d'un courant quelconque, il est traversé par un courant inverse ; que lorsqu'il cesse de recevoir cette action, il est traversé par un courant direct ; enfin que pendant qu'il reçoit cette action d'une manière constante, il n'est traversé par aucun courant et n'éprouve aucune modification apparente sensible. L'action sur le circuit fermé qui donne naissance au courant d'induction peut d'ailleurs être produite par un courant primitif ou par un aimant. Il suffira donc de faire tourner un électro-aimant ou une bobine disposée en électro-aimant, devant un fer-à-cheval aimanté pour obtenir des courants même intenses. Le courant induit est, comme nous venons de le dire, double : inverse d'abord, direct ensuite : mais il sera très facile de le réduire à un courant simple, sensiblement homo-

Digitized by Google

gène et continu : il suffira pour cela d'imprimer à l'électro-aimant un mouvement de rotation rapide, et de recueillir seulement le courant qui se produit pendant le passage de l'une de ses branches dans une position qu'il est aisé de déterminer. Ces dispositions ont été réalisées d'abord par Pixii fils ; d'autres constructeurs ont établi depuis des appareils portatifs très commodes, très puissants, et qui produisent tous les effets de la pile. Les effets d'aimantation obtenus par ces appareils furent d'abord très bornés, parce qu'on recommandait toujours de se servir de la bobine à fil gros et court. Je crois avoir reconnu des premiers, à l'aide d'une petite machine sortie des ateliers d'un constructeur habile et fort ingénieux, M. Billant, que cette recommandation était une grosse erreur, et que l'on obtenait au contraire des électro-aimants excessivement puissants en se servant d'une bobine à fil très fin et très long. Dans les expériences que je fis à ce sujet avec l'abbé Raillard, nous parvînmes à faire porter au demi-électro-aimant de M. Pouillet un poids de près de 600 kilogrammes, par le seul courant de la petite machine de Billant. Le fil très mince de la bobine employée avait 1500 mètres de longueur. L'électro-aimant que l'artiste avait joint primitivement à sa machine ne pouvait porter que quelques grammes. Ces expériences se firent en juillet 1837 ; je les répétai devant beaucoup de savants, et en particulier devant MM. Masson et Bréguet, qui, frappés des résultats que j'avais obtenus, se servirent du courant de la bobine à fils longs pour mouvoir à distance un barreau aimanté, ce qu'ils firent avec la plus grande facilité. Ils firent plus, ils transportèrent cette même petite machine au chemin de fer de l'entrepôt du Gros-Caillou, et virent non sans étonnement que la conductibilité du circuit formé par les rails était sensiblement la même que celle d'un fil de cuivre continu d'égale longueur, et d'un millimètre de diamètre ; que les interruptions des rails ne diminuaient pas la conductilité ; que le courant de la petite machine électro-magnétique, après avoir traversé sans peine cette grande longueur de rails, était encore assez intense pour faire dévier le barreau aimanté, etc. Le récit de cette excursion fut communiqué à l'Académie des sciences par MM. Masson et Bréguet, dans la séance du lundi 9 octobre 1838.

J'ai insisté sur ces principes, parce qu'ils sont encore trop peu connus. M. Pouillet lui-même, dans sa description de l'appareil magnéto-électrique, assigne la bobine à fils gros et courts comme devant être employée pour obtenir des électro-aimants. Et d'ailleurs, il est aujourd'hui bien reconnu que le moteur dans

Digitized by Google

les télégraphes electriques doit être définitivement une machine électro-magnétique armée d'une bobine à fil très mince, et dont la longueur toujours immense doit être dans un certain rapport avec la longueur de la ligne télégraphique.

Qu'on me permette de relater encore ici un fait qui me surprit vivement quand je le vis pour la première fois à une époque où les lois de la résistance du courant étaient peu connues ou peu appliquées. La bobine à fil gros et court ne communiquait aucune aimantation au gros électro-aimant de M. Pouillet, formé d'un fil de cuivre d'environ mille mètres de longueur et de deux tiers de millimètre de diamètre ; il aimantait seulement le petit morceau de fer doux remis par l'artiste, entouré d'un fil assez gros et d'un mètre au plus de longueur. La bobine à long fil, au contraire, donnait une puissance énorme à l'électro-aimant de M. Pouillet, et n'aimantait en aucune manière le petit morceau de fer doux. Les lois découvertes et analysées par MM. Ohm et Pouillet expliquent très bien cette étrange anomalie. Le courant d'induction ne produit des effets appréciables que lorsque la longueur du fil qui le reçoit à son origine est dans un rapport fini avec le fil qu'il doit ensuite traverser, ce qui revient à dire qu'il doit exister une certaine proportion entre la puissance et la résistance. Si la puissance est trop grande, la résistance trop faible, le courant passe sans faire sentir sa présence ; si la puissance est trop faible, la résistance trop grande, le courant est comme arrêté dans sa marche et ne produit rien ; il faut qu'il traverse le fil conducteur avec une certaine difficulté, mais cette difficulté doit être maintenue en de certaines limites.

Les découvertes immortelles de MM. Arago et Faraday ont donc amené la réalisation du producteur d'électricité dynamique qui convient essentiellement à la télégraphie électrique. Nous allons voir bientôt que ces principes suffisent aussi à la mise en action des forces dont on peut avoir besoin pour mettre en jeu les différentes parties de l'appareil.

On peut cependant, à la rigueur, substituer à la machine électro-magnétique la pile à effet constant, dont il me reste à dire quelques mots. M. Becquerel avait fait connaître depuis longtemps les principes simples à l'aide desquels on pouvait construire les appareils voltaïques à courants très faibles, il est vrai, mais constants, dont il se servit dans ses recherches électro-chimiques.

Plusieurs années après, M. Daniell, en partant de l'idée fondamentale de M. Becquerel, construisit la pile à courant constant très intense qui porte son nom, et qui est devenue un appareil tout-à-

Digitized by Google

fait pratique. Cette pile, comme la pile de Wollaston, se compose de deux métaux cuivre et zinc; mais le cuivre plonge dans une solution de sulfate de cuivre; et le zinc, qu'il convient d'amalgamer, dans une dissolution de sulfate de zinc ou de chlorure de sodium. Quand on maintient la solution de cuivre au même degré de saturation, la pile de Daniell donne un courant dont l'intensité reste sensiblement la même pendant des journées entières. On a varié de mille manières la disposition de cette pile et la nature des deux liquides employés. M. Bunsen a substitué au cuivre des cylindres de charbon, aux sulfates de cuivre et de zinc l'acide sulfurique et l'acide nitrique, et il a ainsi obtenu une pile excellente, aujourd'hui très employée, surtout quand on veut obtenir des effets énergiques. Il est aussi des piles à effet constant formées d'un seul liquide; je n'indiquerai ici que celle de M. Wheatstone. Son élément se compose d'un vase poreux de terre rouge à moitié cuite que l'on remplit d'un amalgame pâteux de zinc; ce vase repose au centre d'un vase de verre ou de porcelaine que l'on remplit de sulfate de cuivre; dans l'amalgame, on plonge un fil de cuivre, qui est le pôle négatif de la pile; autour du vase poreux et dans le bain de sulfate de cuivre est une lame de cuivre communiquant à un fil de même métal et formant le pôle positif de la pile. Si les fils communiquent, l'action est vive, l'eau est décomposée, le zinc s'oxide, l'amalgame devient négatif, et cette électricité négative se transmet immédiatement à la feuille de cuivre qui plonge dans le bain de sulfate de cuivre; l'hydrogène positif résultant de la décomposition de l'eau se rend donc au cuivre, et là il réduit l'oxide du sulfate pour donner lieu à un dépôt de cuivre métallique, tandis que l'acide devient libre pour se combiner avec l'oxide de zinc. Ainsi, pour un équivalent de zinc oxidé, il y a un équivalent de cuivre revivifié. Le sulfate de zinc qui se forme s'élève au-dessus de l'amalgame. Cet élément a une force sensiblement constante, autant du moins que le vase poreux permet une circulation également libre des liquides, et que la dissolution de sulfate de cuivre est maintenue à un degré convenable de saturation. Je n'ai décrit ici cette pile que parce que j'aurai besoin de la rappeler dans la suite de ce mémoire.

Nous venons d'énumérer avec d'assez longs détails les grandes découvertes par lesquelles la science devait enfin rendre possible la solution du grand problème qui nous occupe. Tous les éléments du succès sont réunis; à qui appartiendra ou plutôt à qui appartient la grande gloire de la réalisation pratique du télégraphe électrique? Les faits que nous allons raconter avec impartialité, après

Digitized by Google

avoir fait de cette matière délicate l'objet d'une étude approfondie, parleront d'eux-mêmes.

Remarquons d'abord qu'il n'est guère de physicien à qui l'idée ne se soit présentée d'employer l'électricité comme moyen télégraphique, et que le plus grand nombre de ces physiciens ont cédé au désir de donner de la publicité à leurs procédés. M. Wheatstone disait en 1838 à M. Quételet qu'il avait déjà recueilli pour sa part les noms de soixante-deux prétendants à la découverte. Au milieu de tous ces noms, quelques uns dominent; évidemment, dans cette notice abrégée, nous ne pourrons examiner les droits que de ceux-ci.

Morse.

On prétend faire remonter à 1832 le télégraphe de M. Morse, qui a fait beaucoup de bruit il y a quelques années. Examinons cette date : laissons d'abord parler M. Morse. Voici en grande partie la note qu'il remit aux secrétaires perpétuels de l'Académie, dans la séance du 10 septembre 1838, en même temps qu'il présentait son instrument et le mettait en jeu.

« M. Morse croit que son instrument est la première application réalisable qui ait été faite de l'électricité à la construction d'un télégraphe. Cet instrument fut inventé en octobre 1832, pendant que l'auteur se rendait d'Europe en Amérique sur le paquebot *le Sully*. Le fait est certifié par le capitaine du bâtiment et par plusieurs passagers. Au nombre de ces derniers se trouvait M. Rives, ministre des États-Unis auprès du gouvernement français. M. Rives a écrit à M. Morse, à la date du 21 septembre 1837 :

» Je me rappelle parfaitement que vous m'exposâtes l'idée de votre ingénieux instrument pendant le voyage que nous fîmes ensemble dans l'automne de 1837. Je me rappelle aussi que durant nos nombreuses conversations sur ce sujet, je vous fis diverses difficultés, et que vous les levâtes avec promptitude et confiance, etc.

W. C. Rives. »

Dans la lettre du capitaine du paquebot, M. W. Pell, en date du 27 septembre 1837, nous remarquons particulièrement ce passage :

« Lorsque j'examinai votre instrument il y a peu de jours, j'y reconnus les principes et les arrangements que je vous avais entendu développer à mon bord, en octobre 1832. . . . . »

La note ajoute :

« Depuis l'époque à laquelle remonte l'invention du télégraphe de M. Morse, d'autres appareils, fondés sur les mêmes principes, ont

Digitized by Google

été annoncés, parmi lesquels les plus célèbres sont ceux de M. Steinheil de Munich et de M. Wheatstone de Londres; les mécanismes diffèrent beaucoup. »

Il semble résulter de ces assertions que deux documents certains prouveraient que M. Morse avait, en effet, conçu en 1832 l'idée de son télégraphe électrique. Mais comment a-t-on pu dire que c'étaient des documents incontestés, quand, dans les Comptes-rendus de l'Académie, séance du 4 mars 1839, nous lisons l'extrait suivant d'une lettre adressée par un certain M. Jackson à M. de Élie de Baumont:

« Je regrette de voir dans les papiers publics que le professeur Samuel J.-B. Morse s'est approprié mon télégraphe électro-magnétique. Je lui expliquai cet instrument tout au long, à bord du paquebot *le Sully*, quand je revenais en Amérique, dans le mois d'octobre 1832. Je suis peiné du patronage immérité que les savants français ont accordé à M. Morse : l'invention qu'il leur a montrée m'appartient en entier. Dès que je sus quelles étaient ses prétentions à ce sujet, je lui adressai ma protestation; mais je vois qu'il persévère. Je vous en prie, informez l'Académie que M. Morse n'a pas inventé le nouveau télégraphe, et que je lui en donnai la description en octobre 1832. »

Cette lettre annule évidemment l'effet de celles de MM. Rives et Pell; car, alors même que M. Morse aurait réellement entretenu ces messieurs d'un plan de télégraphe, ainsi qu'ils l'affirment, rien ne prouve absolument que le télégraphe en question n'est pas celui dont M. Jackson assure avoir confié la description à cette même date, dans le même voyage. Ce qui est prouvé invinciblement par la note du compte-rendu, ce qui est avoué par M. Morse, c'est qu'entre l'époque à laquelle remonterait l'invention de M. Morse, et la date certaine de la publicité qu'il lui donna en septembre 1837, *d'autres appareils fondés sur les mêmes principes ont été annoncés, parmi lesquels les plus célèbres sont ceux de M. Steinheil de Munich et de M. Wheatstone de Londres.*

Dans sa belle notice sur les travaux du grand Herschell, M. Arago établit en principe qu'il n'y a qu'une manière rationnelle et juste d'écrire l'histoire des sciences : c'est de s'appuyer exclusivement sur des publications ayant date certaine; hors de là, dit-il, tout est confusion et obscurité. Cette règle est peut-être sévère; mais, ajoute l'illustre secrétaire, « quelle plainte légitime pourrait faire entendre celui qui, amoureux de ses découvertes comme l'avare l'est de ses trésors, les enfouit, se garde même de

Digitized by Google

les laisser soupçonner, de peur que quelque autre expérimentateur les développe et les féconde! Le public ne doit rien à qui ne lui a rendu aucun service. Oh! je vous entends! vous vouliez prendre le temps de compléter votre ouvrage, de le suivre dans toutes ses ramifications, d'en indiquer les applications utiles! Libre à vous, messieurs, libre à vous; mais c'est à vos risques et périls. D'ailleurs vos craintes de spoliation sont exagérées. Où a-t-on vu, en effet, que le monde scientifique ait manqué de poursuivre de ses poignants sarcasmes, de ses justes colères, de ses écrasants mépris, les personnages stériles qui, aux aguets des travaux de leurs contemporains, ne manquent jamais de se jeter sur un filon le lendemain même du jour où quelque heureux explorateur l'a découvert, qui se montrent sans cesse aux croisées, à tous les étages des édifices en construction, dans l'espérance qu'on les en croira les architectes ou les propriétaires? Le plus simple bon sens veut que pendant un temps limité, mais suffisamment étendu, une possession privilégiée, absolue, soit accordée aux inventeurs; cette stricte justice leur a-t-elle jamais été refusée? Si un homme déloyal va moissonner sur le champ qu'il n'a pas ensemencé, la réprobation générale est là pour le punir! Non, non! il ne faut pas s'y tromper : en matière de découvertes comme en toute autre chose, l'intérêt public et l'intérêt privé bien entendu marchent toujours d'accord.

» J'ai parlé de publication, dit enfin M. Arago; j'appelle ainsi toute lecture académique, toute leçon faite devant un nombreux auditoire, toute reproduction de la pensée par la presse. Les communications privées n'ont pas l'authenticité nécessaire. Les certificats d'amis sont sans valeur; l'amitié manque souvent de lumières et se laisse fasciner. »

Qui n'adopterait pleinement ces principes? Et en les appliquant à M. Morse, on sera forcé d'admettre que ses prétentions à l'invention du télégraphe électrique ne sont pas plus fondées que celles de M. Jackson. MM. Wheatstone et Steinheil, et, à plus forte raison, MM. Gauss et Weber ont sur lui la priorité.

Mais à quoi bon cette discussion? Supposons que M. Morse ait vraiment imaginé le télégraphe dont M. Jackson lui dispute l'invention, en quoi consiste cet appareil? Citons de nouveau la note déposée à l'Académie par M. Morse.

« Le télégraphe américain n'emploie qu'un seul circuit; à l'extrémité du circuit où les nouvelles doivent être reçues est un appareil nommé le *register*, ou rapporteur. Il consiste en un électro-aimant dont le fil enveloppe forme le prolongement du fil du circuit.

Digitized by Google

» L'armature de cet aimant est attachée au bout d'un petit levier qui, par l'extrémité opposée, porte une plume. Sous cette plume est un ruban de papier qui marche à volonté à l'aide d'un certain nombre de rouages. A l'autre extrémité du circuit, c'est à-dire à la station d'où les nouvelles doivent partir, existe un appareil nommé *portrule* ou port-composteur. Il consiste en une batterie ou générateur de galvanisme, aux deux pôles de laquelle finit le circuit; près de la batterie (l'auteur a voulu dire la pile), une portion de ce circuit est brisée; les deux extrémités disjointes sont introduites dans deux coupes de mercure contiguës.

» A l'aide d'un fil en fourche attaché à l'extrémité d'un petit levier, les deux coupes peuvent à volonté être mises en connexion entre elles, ou laissées isolées. Ainsi, le circuit est fermé ou rompu quand on le veut. Le jeu du mécanisme est le suivant.

» Quand le circuit est fermé, l'aimant est chargé; il attire l'armature, et le mouvement de celle-ci fait que la plume touche le papier. Lorsque le circuit est fermé et ouvert rapidement, il se produit sur le papier mobile de simples points; si, au contraire, il reste fermé pendant un certain temps, la plume marque une ligne d'autant plus longue que la fermeture est elle-même plus longue. Le papier offre un large intervalle de blanc si le circuit reste ouvert un temps considérable. Ces points, ces lignes et les espaces blancs conduisent à une grande variété de combinaisons. A l'aide de ces éléments, M. le professeur Morse a construit un alphabet et les signes des chiffres. Les lettres peuvent être écrites avec une grande rapidité au moyen de certains types que la machine fait mouvoir avec exactitude, et qui impriment au levier portant la plume des mouvements convenables. On trace quarante à quarante-cinq de ces caractères en une minute.

» Le register ou rapporteur est sous le contrôle de la personne qui envoie une nouvelle. En effet, depuis l'extrémité nommée port-composteur, le mécanisme du rapporteur peut être mis en mouvement à volonté et arrêté de même. La présence d'une personne pour recevoir la nouvelle n'est donc pas nécessaire, quoique cependant le son d'une cloche mise en tintement par le mécanisme annonce que l'on va commencer à écrire. »

Les *Comptes-rendus* ajoutent que la distance à laquelle le télégraphe américain a été essayé est de dix milles anglais, ou de quatre lieues de poste de France; que les expériences eurent pour témoins une commission de l'Institut de Franklin de Philadelphie, et un comité nommé par le congrès des États-Unis; que les rapports des deux commissions furent extrêmement favorables; que le comité

Digitized by Google

du congrès proposa de consacrer 30,000 dollars (150,000 francs) à une expérience en grand de ce mode de communication; que la dépense de construction du nouveau système télégraphique serait, suivant M. Morse, de 3,500 francs par mille anglais, ce qui revient à 14,000 francs par lieue de poste de France; que la machine qu'il faudrait à chaque extrémité ne coûterait pas plus de 1,500 fr. M. Morse pense que les fils, une fois placés, dureraient un demi-siècle, à moins que la malveillance ne les brisât.

Voilà les dispositions du télégraphe de M. Morse! Étaient-elles assez parfaites pour qu'il pût fonctionner en grand et répondre aux besoins d'un service de tous les instants? Le problème de la télégraphie électrique fut-il alors pleinement résolu? Nous ne craignons pas de dire que non. Le mode de production des signes, ce genre d'écriture réalisée à distance, l'introduction du temps de la durée du courant dans la composition de l'alphabet, sont choses essentiellement défectueuses qu'il faudra nécessairement abandonner. Serais-je sur ce point en désaccord avec M. Arago, qui, dans la communication qu'il fit à la Chambre des députés, indiquait en ces termes le système de M. Morse comme pouvant être adopté par la commission des télégraphes? « Concevons qu'à la station où l'on doit recevoir la dépêche on ait une longue bande de papier mobile entre deux rouleaux à l'aide d'une force mécanique quelconque. La pièce de fer dont je parlais tout-à-l'heure, cette pièce destinée à être successivement aimantée et non aimantée, est placée au-dessus du papier, et par son mouvement de bascule entraîne un pinceau. Le courant passe-t-il, la pièce alors aimantée est attirée par une masse de fer stationnaire, elle bascule et pousse le pinceau jusqu'au papier; le courant n'a-t-il duré qu'un instant, le pinceau ne trace qu'un point; l'aimantation a-t-elle eu quelque durée, le pinceau avant de se relever aura marqué un trait d'une longueur sensible sur le papier mobile. Vous pouvez ainsi, à cent lieues de distance, faire succéder sur le papier de votre correspondant un point à un point, un point à un trait; intercaler un point entre deux traits, un trait entre deux points, etc., etc., et engendrer ainsi les signaux qui, suivant M. Foy, doivent suffire à la correspondance télégraphique la plus variée. »

On conclurait à tort de ces paroles que M. Arago est partisan du système de M. Morse; nous dirons seulement qu'il lui a rendu l'hommage que, spéculativement parlant, il méritait. Mais au fond le jugement de M. Arago est tout-à-fait conforme au nôtre, et la commission dont il est président se gardera bien d'adopter le télé-

Digitized by Google

graphe américain, lequel dans la pratique remplirait très mal sa destination.

Schilling.

L'invention du télégraphe de M. Morse appartient, authentiquement du moins, comme nous l'avons prouvé, à l'année 1837. M. Amyot, dans une note présentée à l'Académie des sciences dans la séance du 9 juillet 1838, raconte qu'en 1832 ou 1833 M. le baron Schilling, qui n'était point, à ce qu'il paraît, un physicien savant, mais un simple amateur, construisit à Saint-Pétersbourg un télégraphe électrique qui consistait en un certain nombre de fils de platine isolés et réunis dans une corde de soie, lesquels mettaient en mouvement, à l'aide d'une espèce de clavier, cinq aiguilles aimantées placées dans une position verticale, au centre du multiplicateur. Il avait joint à son appareil un mécanisme fort ingénieux dont l'idée était à lui et consistait dans une montre à sonnerie, espèce de réveil qui, lorsque l'aiguille tournait au commencement de la correspondance, était mise en jeu par la chute d'une petite balle de plomb que faisait tomber la pointe de l'aiguille aimantée. L'empereur actuellement régnant fut témoin d'expériences faites sous ses yeux avec ce télégraphe; mais le baron Schilling étant mort quelque temps après, on n'a pas pu tirer parti de son habileté pour l'établissement de ce genre de correspondance sur une grande échelle, ce qui paraît faire l'objet d'un vif désir de la part du gouvernement russe.

Schilling, par les dix mouvements dont ses cinq aiguilles étaient susceptibles, n'indiquait que les dix chiffres dont les combinaisons données par un dictionnaire spécial formaient tous les signaux possibles.

Gauss et Weber.

Dès 1834, deux des plus illustres savants de l'Allemagne, MM. Gauss et Weber, entrèrent noblement dans la lice, en établissant au moyen de l'électricité une communication télégraphique entre l'observatoire et le cabinet de physique de l'Université de Gœttingue. Leurs premières expériences ont été mentionnées dans les *Publications scientifiques de Gœttingue* pour 1835, et dans l'*Annuaire de Schumacher* pour 1836. Ils les répétèrent et les perfectionnèrent plus tard en utilisant les phénomènes d'induction ma-

Digitized by Google

gnétiques découverts vers ce temps-là par M. Faraday. Les mouvements divers, ou les oscillations lentes d'un barreau aimanté, causés par le passage du courant, et observés à l'aide d'une lunette, fournissaient à MM. Gauss et Weber tous les signaux dont ils avaient besoin pour correspondre avec facilité et promptitude. Il n'est du reste pas douteux que ces habiles physiciens ont plutôt eu en vue de montrer la possibilité des télégraphes électriques que de réunir les conditions nécessaires pour le faire servir à la pratique d'une manière permanente.

Steinheil.

Les recherches et les tentatives de M. Steinheil précédèrent incontestablement celles de M. Wheatstone; son télégraphe était construit en juillet 1837. La description que nous allons reproduire a été communiquée à l'Académie des sciences dans la séance du 10 septembre 1838.

« Le télégraphe de M. Steinheil est une application des découvertes successives et fondamentales d'Œrsted et de Faraday, et du multiplicateur de Schweiger.

» Dans un fil de 36,000 pieds de longueur, de trois quarts de ligne d'épaisseur, et retournant sur lui-même, M. Steinheil produit un courant galvanique par l'action d'une machine de rotation semblable à celle de Clarke, mais construite de manière que la résistance dans l'appareil générateur soit très grande par rapport à celle qui a lieu dans le conducteur : c'est ainsi qu'il appelle le fil de cuivre. Ce conducteur forme sur différentes stations des multiplicateurs de 400 à 500 révolutions en fil de cuivre isolé, très fin, autour d'une aiguille aimantée, posée sur un axe vertical terminé par deux pointes.

» Les déviations produites par le courant galvanique sur ces aiguilles aimantées ont lieu instantanément; elles donnent le moyen d'obtenir les signes télégraphiques. On voit qu'il n'existe que deux signes différents produits : l'un, lorsque le courant est dirigé dans un sens, et l'autre résultant de la direction du courant en sens inverse. On dirige à volonté le courant en tournant la machine de rotation dans un sens ou dans l'autre. Les aiguilles aimantées, après leurs déviations analogues, sont ramenées à leur position primitive par l'action des forces magnétiques de deux petits aimants régulateurs. Sur chaque station, on a un appareil de rotation qui produit la force déviatrice, et un autre qui donne les signes par suite des déviations produites.

Digitized by Google

» Partout où passe le conducteur, on possède une force agissant instantanément selon la volonté de celui qui la produit. Il n'en faut pas davantage pour communiquer les idées : il suffit de bien choisir les signes au moyen desquels elles doivent être représentées.

» Un télégraphe dont les signes ne sont que visibles ne peut jamais être parfait, parce qu'il exige une attention continuelle de la part des observateurs. Pour rendre son télégraphe exempt de cet inconvénient, M. Steinheil a tâché de produire des sons qui, frappant l'ouïe, peuvent faire du langage télégraphique une imitation de la parole. Pour atteindre ce but, M. Steinheil place à côté des deux aiguilles aimantées deux petites cloches donnant chacune un son qui lui est propre, et qui se distingue facilement de celui de la cloche voisine. Chaque déviation d'une aiguille occasionne de la part de celle-ci un choc contre la cloche correspondante; et comme on produit à volonté la déviation de l'une ou de l'autre des deux aiguilles en dirigeant le courant galvanique dans un sens ou dans l'autre, on obtient instantanément le son que l'on désire.

» M. Steinheil ne s'est pas borné, dans la disposition de son télégraphe, à la production de sons fugitifs; il a voulu aussi fixer ces sons en traçant sur le papier des signes qui les rappelassent. Il y est parvenu en faisant avancer, au moyen de la direction des deux aiguilles aimantées, deux petits tubes pointus munis d'une encre particulière. A chaque coup de cloche, on peut voir l'une des pointes s'avancer contre une bande étroite de papier qui se meut très lentement avec une vitesse uniforme devant ces pointes, et y dépose un point bien distinct représentant la note musicale que la cloche a fait entendre. Les points ou notes laissés par chaque pointe sont sur la même ligne : il y a donc deux lignes de notes.

» En combinant les sons et les notes jusqu'à quatre, M. Steinheil a obtenu un alphabet parlé et un alphabet écrit comprenant les lettres nécessaires pour écrire tous les mots de la langue allemande, et, de plus, les chiffres. On a pu voir dans un dessin qui a été mis sous les yeux de l'Académie la disposition des points pour former les signes au moyen desquels il représente et les lettres et les chiffres.

» Les sons peuvent être produits dans un temps très court; il est facile d'en obtenir quatre pendant une seconde. Des intervalles plus grands séparent les lettres et les mots. C'est par habitude que l'on parvient à comprendre la musique produite par le son du télégraphe, et à lire les signes qui résultent de l'arrangement des notes laissées sur la bande de papier continue. La mémoire est facilitée par une certaine analogie que M. Steinheil a cherché à établir entre la

Digitized by Google

forme des lettres et la figure résultant de la réunion des notes par des lignes droites.

» M. Steinheil pense donc avoir inventé le premier télégraphe dans le sens véritable du mot; c'est-à-dire un appareil qui parle un langage facile à comprendre, et qui écrit lui-même ce qu'il dit; ou plutôt ce qu'on lui fait dire.

» L'appareil est simple et solide. Depuis un an qu'il était construit, en juillet 1838, il n'avait encore exigé aucune réparation.

» Un fait digne de remarque, et que l'on peut observer sur le conducteur employé par M. Steinheil, est que le conducteur n'a point éprouvé d'oxidation; la galvanisation l'en a préservé, malgré son exposition à l'air sur une grande longueur.

» Le télégraphe galvanique établi à Munich part de l'observatoire de M. Steinheil à la *Lerchenstrass;* en ce point le conducteur est réuni à une plaque de cuivre enterrée. Partant de là, le fil de cuivre traverse dans l'air, et, par-dessus les maisons, la partie de la ville comprise entre la *Lerchenstrass* et les bâtiments de l'Académie des sciences, où une seconde station a été établie.

» De l'Académie, le conducteur se rend à l'observatoire royal à *Bogenhausen*, troisième station, après avoir traversé dans l'air, et par-dessus les tours et les édifices élevés, le reste de la ville, puis l'Issar, fleuve qui la longe d'un côté, puis la montagne appelée *Gasteig*, et enfin la ville de Haidhausen, qui est comme un faubourg de Munich. La longueur du trajet est d'environ une lieue trois quarts d'Allemagne.

» A l'observatoire royal, à Bogenhausen, le fil aboutit, comme au point de départ, à une plaque de cuivre enfoncée dans la terre.

» Quoique la terre ne soit que peu douée de la faculté conductrice en comparaison des métaux, le courant galvanique traverse la distance dont il vient d'être parlé avec une résistance d'autant plus petite qu'on augmente davantage la surface des plaques enterrées. Celles qui sont appliquées aux deux extrémités du conducteur, à la Lerchenstrass et à Bogenhausen, n'ont que six pouces de côté.

» On voit donc que le même moyen peut être appliqué pour des distances très considérables. Des mesures numériques de résistance, pour diverses compositions du terrain, laissent à M. Steinheil la certitude que l'application de cette découverte ne sera limitée ni par la distance ni par la nature du terrain.

» Depuis la construction de son premier télégraphe galvanique, M. Steinheil a imaginé des moyens nouveaux propres à simplifier la solution du problème qu'il s'est posé. Il a trouvé, par exemple,

Digitized by Google

que la terre peut servir comme moitié de conducteur; découverte qui serait de la plus grande importance, si, comme il n'en doute pas, ses prévisions se réalisent.

» M. Steinheil annonce qu'il a déterminé par l'observation la loi suivant laquelle les forces galvaniques se dispersent en passant à travers la terre, ou par les eaux d'une grande étendue. Ce travail, dont l'auteur attend des résultats merveilleux, sera publié incessamment. »

Il y a évidemment dans ce projet d'excellentes choses, un véritable progrès. Le fait reconnu de la *suffisance* (ce mot ne peut être remplacé par rien) d'un conducteur unique pour conduire et ramener le courant avec l'aide de la terre mise en communication avec les deux extrémités du fil, est une très grande découverte qui restera, et dont dépend en grande partie l'avenir de la télégraphie électrique.

L'emploi des machines magnéto-électriques, cette disposition heureuse des multiplicateurs placés aux diverses stations, lesquelles peuvent devenir tour à tour des centres de correspondance, les points de départ des dépêches que l'on veut transmettre, sont aussi une disposition très ingénieuse qui sera définitivement adoptée. Ces réflexions nous forcent à conclure que M. Steinheil peut réclamer justement une grande part de gloire dans la solution maintenant complète du beau et grand problème de la télégraphie. Cette gloire toutefois ne lui appartient pas tout entière, et son appareil même ne subsistera pas dans ses parties fondamentales. On a droit d'exiger que je donne les raisons des restrictions que j'apporte aux éloges mérités par le physicien bavarois. Je ne dirai pas brutalement, comme on l'a fait naguère, que son mécanisme trop compliqué mettrait à bout la patience de quiconque ne serait pas Allemand; j'avouerai même qu'en lui-même son alphabet phonique, obtenu par la combinaison de quatre coups produits sur deux cloches, est une bonne idée, laquelle, je crois, sera adoptée un jour dans les télégraphes plus parfaits.

Mais je rejette l'alphabet graphique, et même l'alphabet phonique, en tant qu'ils doivent être réalisés tous deux par la force directe du courant. C'est là qu'est le vice du télégraphe de M. Steinheil. Quand on a beaucoup expérimenté en ce genre, on acquiert bientôt la conviction intime et inébranlable que les signes télégraphiques ne peuvent pas être produits d'une manière certaine et constante par l'action directe du courant; qu'entre cette action directe et la production des signes il faut une force intermédiaire

Digitized by Google

nécessairement efficace et constante, l'action d'un poids ou d'un ressort par exemple ; de telle sorte que l'influence du courant ne faisant, si je puis m'exprimer ainsi, que dégager ou mettre en liberté la force étrangère constante, ce soit celle-ci qui, en définitive, produise immédiatement les signes ou l'alphabet quel qu'il soit. Voilà la vraie théorie de la télégraphie électrique : ce que ces lignes contiennent encore de vague disparaîtra quand nous ferons la description du télégraphe de M. Wheatstone.

Amyot.

Un peu avant MM. Morse et Steinheil, M. Amyot avait adressé à l'Académie des sciences, séance du 2 juillet 1838, une note que j'ai déjà citée et dans laquelle je trouve le passage suivant :

« Quant à moi, après avoir étudié la question autant qu'il m'a été possible, je l'ai résumée à l'emploi d'un seul courant, d'une seule aiguille qui écrit d'elle-même sur le papier, et avec une précision mathématique, la correspondance que transmet à l'autre extrémité une simple roue sur laquelle on a écrit dans son cabinet, à l'aide de pointes différemment espacées, comme sur les roues de nos orgues de Barbarie, laquelle roue tourne régulièrement par un ressort de montre. De cette manière on n'a donc qu'à écrire en espèce de caractères mobiles la nouvelle qu'on veut transmettre. Ce genre de dépêches est déposé dans une boîte, et au même instant elle s'écrit toute seule à la distance où on l'envoie. Les agents qui l'attendent là n'ont qu'à recueillir le papier, qui se meut aussi régulièrement par une machine, et à le porter sous les yeux de ceux qui savent lire le chiffre. Dans ce mode d'exécution aucune erreur n'est à craindre, puisque tout marche comme une horloge. »

A part le très grave inconvénient que j'ai signalé dans le télégraphe de M. Steinheil, ce mécanisme est très simple, très ingénieux, en théorie du moins. L'exécution était plus difficile, et rien ne nous apprend que M. Amyot en soit venu là ; tout énonce au contraire qu'il n'a pas complété son invention, que d'autres personnes auraient utilisée. Il faut surtout, dit-on, attribuer cet insuccès à la mort de M. Savary, qui s'était fait le collaborateur et le conseiller de M. Amyot. Ce dernier toutefois a communiqué depuis à l'Académie, en décembre 1838, une série de tableaux offrant un mode de langue et un système de lignes qu'il propose pour la correspondance télégraphique.

Digitized by Google

Masson et Bréguet.

M. Masson, alors professeur de physique à Caen, adressa dans la même séance à l'Académie une lettre, dans laquelle il annonçait qu'il avait fait au collége de cette ville un essai de télégraphie électrique, sur une distance d'environ 600 mètres. Il employait, pour développer le courant qui devait agir sur des aiguilles aimantées aux deux extrémités du circuit, l'appareil magnéto-électrique de Pixii. L'essai de M. Masson avait très bien réussi. Plus tard, en octobre 1838, M. Masson, associé cette fois à M. Bréguet fils, un des membres de la commission actuelle du télégraphe de Rouen, répéta son expérience au chemin de fer de La Gare, dans les circonstances que nous avons dites. Ces essais furent évidemment tout-à-fait incomplets, en comparaison des résultats obtenus par MM. Steinheil et Morse. MM. Masson et Bréguet ont de plus adressé à l'Académie, sous dépôt cacheté, la description d'un nouveau télégraphe électrique. Beaucoup d'autres inventions semblables, celles entre autres de MM. Deval, Bellon, Baillet-Sondalot, etc., etc., sont aussi restées ensevelies dans des paquets cachetés : nous n'avons donc pas à en parler. Ce précis historique nous conduit enfin à l'époque de la réalisation en grand du télégraphe électrique.

CINQUIÈME ÉPOQUE.

Wheatstone.

Le 12 juin 1837, M. Wheatstone prit en Angleterre sa première patente. Je dis le 12 juin, et non le 12 décembre, comme l'affirme le bibliothécaire des Arts et métiers. M. Boquillon ne peut pas ignorer qu'en Angleterre, comme en France il y a dans l'obtention d'un brevet d'invention ou d'une patente, deux temps fort distincts que les Anglais désignent par les mots *sealed* et *specified*. Il y a d'abord le dépôt de la spécification et des plans, suivi immédiatement de la concession provisoire ; puis au bout de six mois il y a la concession définitive du brevet ou de la patente avec le gâteau de cire, concession dont la délivrance en Angleterre suppose la présence de l'inventeur sur le sol anglais et la formalité préalable de sa signature, qui ne peut être donnée par procureur. C'est par mégarde sans doute que M. Boquillon donne pour date à la patente de M. Wheatstone cette seconde époque, tandis que la première est

Digitized by Google

la seule date authentique de toute invention et le point de départ des droits sacrés de l'inventeur. Le mois de juin 1837 est donc l'époque certaine à laquelle remonte le télégraphe de M. Wheatstone. Un article du journal *of Popular education* l'avait même fait connaître. La première apparition de ce télégraphe en France eut lieu à l'Académie des sciences, dans la séance du 8 janvier 1838. Voici la note inscrite dans les *Comptes-rendus :*

« Il est donné lecture de l'extrait d'une lettre de M. le docteur Buckland à M. le docteur Robertson, dans laquelle il était question d'un télégraphe électrique que M. Wheatstone se propose d'établir entre Londres et Liverpool. Les fils destinés à faire jouer les lettres aux extrémités de la ligne seront placés sous le chemin de fer qui va de l'une à l'autre de ces deux villes. »

Suppléons à cette annonce insignifiante par un autre document authentique beaucoup plus complet. M. Quételet lut à l'Académie de Bruxelles, dans la séance du 10 février 1838, une note pleine d'intérêt dont j'extrais le passage suivant :

« Voici quelques renseignements sur le procédé que M. Wheatstone se propose de suivre, et qui a déjà été mis à l'épreuve en présence d'un grand nombre de spectateurs et sur une distance de 20 milles d'Angleterre.

» M. Wheatstone fut conduit à son invention par les belles expériences qu'il fit, il y a six ans environ, dans la vue de mesurer la vitesse de transmission de l'électricité, et qui furent consignées dans les *Transactions philosophiques* de la Société royale de Londres pour 1834. Il trouva que cette vitesse était d'environ 200,000 milles, ou 333,800 kilomètres, par seconde. Pour faire ces expériences, il n'avait employé qu'un fil conducteur d'un demi-mille ; plus tard il employa des fils de plusieurs milles de longueur. L'occasion qu'il eut de juger des effets produits par l'électricité voltaïque et par le courant magnéto-électrique sur d'aussi grands circuits lui donna la conviction que les communications télégraphiques ne devenaient pas seulement possibles, mais très praticables. Il se mit donc à étudier l'appareil le plus convenable pour réaliser son projet, et il réussit de la manière la plus complète par les procédés suivants.

» Au moyen de cinq fils conducteurs seulement, entre deux stations éloignées, M. Wheatstone peut indiquer instantanément les différentes lettres de l'alphabet, et les transmettre au nombre d'environ vingt par minute. Plusieurs même peuvent être transmises à deux en même temps. Les mêmes fils servent à la fois pour donner et recevoir des communications, sans qu'on doive modifier en rien l'appareil. Au moyen des cinq fils conducteurs agissant sur cinq

Digitized by Google

aiguilles, dont les mouvements se combinent deux à deux, ou trois à trois, M. Wheatstone produit environ dix signaux différents.

» Qu'on se figure deux petites chambres éloignées de plusieurs milles de distance, et dans chacune un observateur assis devant un petit instrument qui porte autant de touches qu'il y a de lettres dans l'alphabet. Sur le mur, et en face de lui, se trouve suspendu un tableau sur lequel sont lisiblement écrites les lettres de l'alphabet. Quand il met le doigt sur une touche de l'instrument, le caractère qui y répond est distinctement mis en jeu sous ses yeux, et il se manifeste de même pour l'autre observateur dans la station opposée, car la vitesse de l'électricité échappe à toute appréciation. L'appareil sert avec la même facilité la nuit et le jour; ni les tempêtes, ni les nuages, ni les brouillards ne peuvent empêcher ses indications. On en a fait l'essai dans toutes ces circonstances.

» On a établi une ligne télégraphique d'après le nouveau système, sur une distance d'un mille et demi dans la direction du chemin de fer de Londres à Birmingham, et de plus des expériences temporaires ont été faites dans lesquelles les fils conducteurs avaient près de 20 milles d'étendue. Les dernières expériences ont été faites de concert avec M. Cooke, qui sera chargé de tout ce qui regarde les lignes télégraphiques de l'Angleterre. M. Cooke avait lui-même inventé un télégraphe électrique très ingénieux, mais qui a été remplacé par celui dont nous venons de donner une idée.

» Il est une partie très importante dans le nouveau télégraphe dont nous avons omis de parler, c'est l'alarme ou la cloche qui appelle l'attention de l'observateur. Cette cloche sonne sous un marteau de détente qui est subitement relâché par l'action d'un aimant temporaire de fer doux sur lequel on fait agir le courant électrique. Par ce moyen très ingénieux, et qui appartient exclusivement aux deux physiciens anglais, l'observateur à l'une des stations peut appeler l'attention de l'autre observateur en faisant frapper fortement le timbre.

» Quoiqu'on fasse usage de cinq fils, on pourrait n'en employer que quatre, ou même trois, si l'on voulait se borner au dictionnaire télégraphique ordinaire.

» Les résultats qui précèdent n'ont pas encore reçu de publicité, parce que M. Wheatstone voulait s'assurer la priorité de son invention par des brevets pris en Angleterre, en France, en Belgique et aux États-Unis. Aujourd'hui que l'auteur s'est assuré la jouissance de sa découverte, il a bien voulu nous permettre de faire connaître aux savants les procédés qu'il emploie. La délicatesse de ces appareils est si grande qu'il suffit, pour les mettre en action, d'em-

Digitized by Google

ployer dans le plus grand nombre de circonstances un élément voltaïque d'un décimètre de côté. Dans les cas de grande humidité seulement, il est prudent d'employer un élément d'une étendue un peu plus grande.

» Depuis que M. Wheatstone a mis ses appareils en expérience, et que les succès qu'il a obtenus n'ont plus laissé de doute sur les avantages des télégraphes électriques, plusieurs personnes ont fait des tentatives nouvelles et ont réclamé à leur bénéfice l'invention des physiciens anglais ; on compte parmi elles M. Alexandre, d'Edimbourg, M. Davy, à Londres, le colonel Gow, à Livington, le professeur Morse, à New-York. Il est juste de dire cependant que les expériences de MM. Gauss et Weber sur la transmission des signaux par des procédés magnéto-électriques, expériences qui ont été répétées par M. le professeur Steinheil, de Munich, ont été faites avant les publications de MM. Wheatstone et Cooke. »

Que trouvons-nous dans le télégraphe de M. Wheatstone? Un grand progrès évidemment ! Nous y voyons d'abord des signes télégraphiques obtenus, il est vrai, par l'action directe du courant voltaïque et la déviation d'aiguilles aimantées, ce qui est une imperfection réelle, mais ramenées à des indications tout-à-fait simples qui sont les lettres de l'alphabet manifestées par le point de convergence des aiguilles prolongées. Ce n'est plus ici le travail difficile d'écrivain imposé à une pauvre aiguille, comme dans le télégraphe de Steinheil, c'est une déviation simple, tranchée, obtenue avec tant de constance, d'infaillibilité, que l'appareil est devenu un instrument usuel fonctionnant avec la plus parfaite régularité : l'on rencontre enfin la télégraphie électrique réalisée. Mais il y a dans cette première patente un fait capital et tout-à-fait riche d'avenir, c'est le mode de communication du mouvement qui met en jeu le réveil ou l'alarme. Ici le courant n'agit plus directement à l'état de force vive, si je puis me servir de cette expression, il aimante seulement par son passage un morceau de fer doux : cet aimant passager attire un autre petit morceau de fer doux qui empêchait l'action d'un ressort permanent : l'échappement est devenu libre: un mouvement d'horlogerie a mis en mouvement le marteau qui doit frapper le timbre. Tout cela est bien simple, bien petit en apparence, et sous cette petite apparence il y a une puissance comme infinie, il y a un monde de merveilles, il y a la facilité donnée à l'homme de mettre en action, à quelque distance que ce soit, toutes les forces de la mécanique, et d'obtenir par conséquent les effets les plus étonnants, les plus inattendus et les plus variés. On a réalisé déjà

Digitized by Google

assez d'applications surprenantes de ce principe élémentaire pour que je puisse prouver qu'il n'y a aucune exagération dans l'appréciation que je viens de faire de cette partie ingénieuse du mécanisme de M. Wheatstone. Un très grave inconvénient de son premier télégraphe était la multiplicité des fils ; quatre fils, c'était beaucoup trop de complication et de dépenses ; on n'était donc pas arrivé encore à la perfection, mais on était entré dans une si bonne voie qu'il n'y avait aucun doute que l'on parviendrait bientôt à l'atteindre. La perfection était même si clairement montrée dans un lointain peu éloigné que beaucoup d'esprits ardents s'élancèrent à sa poursuite.

M. Davy.

Le 4 janvier 1839, M. Davy prit à Londres une patente pour un télégraphe électro-magnétique dans lequel un échappement analogue à celui des horloges arrête ou détermine le mouvement d'un corps de rouages, selon qu'une pièce en fer doux qui y est adaptée est altérée ou laissée inerte par un aimant temporaire placé dans un circuit voltaïque ; ces alternatives de mouvement et de repos font marcher un cylindre recouvert d'un papier sur lequel les signaux sont enregistrés par des points plus ou moins espacés. Il faut ajouter encore que les points étaient obtenus au moyen de l'action chimique du courant et de la décomposition de certaines substances. Dans la partie descriptive, je donnerai plus de détails sur le mécanisme de M. Davy ; mais n'est-il pas évident au premier aspect qu'il ne contient rien d'essentiellement neuf? La mise en mouvement des rouages s'obtient par le procédé de M. Wheatstone, dont la gloire reste par conséquent intacte, puisqu'il est certain que la patente de M. Davy est bien postérieure à la sienne. D'ailleurs le mode d'impression des dépêches à l'aide de l'action chimique du courant n'est pas du tout heureux.

M. Vorsselman de Heer.

J'ai énuméré déjà bien des modes de correspondance à distance obtenus par l'électricité. J'ai décrit le télégraphe électro-chimique, le télégraphe électro-optique, le télégraphe électro-acoustique, etc., voici venir à son tour le télégraphe électro-physiologique. M. Vorsselman de Heer avait cru pouvoir conclure des expériences des physiciens les plus renommés que les télégraphes électro-magnétiques, au point

Digitized by Google

de vue économique du moins, étaient vraiment irréalisables; il lui semblait que le seul mode possible de télégraphie électrique devait reposer sur l'emploi des effets physiologiques de la pile : les signaux devaient, suivant lui, s'adresser, non à l'oreille ou à la vue, mais au tact.

Il résulte, disait-il, des lois découvertes par MM. Ohm, Pouillet, Faraday, etc., que les effets physiques et chimiques du courant électrique dépendaient de la quantité d'électricité qui traverse dans l'unité du temps la surface entière de la section du fil conducteur, car tous les éléments de cette section agissent à la fois aussi bien pour dévier l'aiguille magnétique ou aimanter le fer que pour séparer les éléments électro-chimiques du corps. L'effet thermique ou physiologique de l'électricité dépend uniquement, au contraire, de la quantité d'électricité qui traverse chaque élément de la surface de la section, puisque cet effet se manifeste dans l'élément même. On comprend facilement dès lors que les effets magnétiques sont en rapport direct avec l'intensité du courant, tandis que les effets thermiques et physiologiques sont proportionnels seulement à sa densité. En partant de ces principes, il est facile dans chaque cas particulier de déterminer l'appareil capable de produire à distance un effet électrique donné, et c'est en cela que consiste le problème de la télégraphie électrique considéré sous le point de vue le plus général. Supposons, par exemple, qu'on ait pu avec un élément d'un décimètre carré dévier à la distance d'un kilomètre l'aiguille d'un galvanomètre suffisamment sensible; pour produire le même effet à la distance de 100 kilomètres, il faudra évidemment cent éléments voltaïques, chaque kilomètre en sus exigeant un nouveau couple. Cette pile donc de cent couples, dont l'entretien sera nécessairement dispendieux, ne pourra exercer sa puissance magnétique qu'à 100 kilomètres ou 25 lieues : or, sa puissance physiologique s'exercerait encore beaucoup plus loin. Il résulte, en effet, des belles expériences de M. Pouillet, que la résistance du corps humain, lorsque le courant le pénètre par les deux mains plongées dans le mercure, équivaut à une longueur de 8 lieues du fil pris pour terme de comparaison. Si le courant pénètre seulement par les deux doigts, la résistance sera représentée par 17 lieues du même fil. Dès lors, si une pile de vingt couples produit une commotion sensible dans ces deux doigts, une pile de quarante couples produira le même effet sur un ensemble de deux personnes, ou sur une seule personne placée dans un circuit de 77 lieues. Une pile de cent couples impressionnerait de la même

Digitized by Google

manière une personne placée à 4 × 77 ou 154 lieues de distance, tandis qu'elle ne produisait qu'à 25 lieues l'effet magnétique dont nous avons parlé. On dira peut-être qu'en augmentant la sensibilité de l'appareil galvanométrique on pourra reculer les limites de l'action produite; mais la sensibilité du galvanomètre atteindra-t-elle jamais celle des nerfs? Quel que soit l'électro-moteur que l'on emploie, l'action continue d'une pile, l'action discontinue d'une machine magnéto-électrique, les courants d'induction, etc., il sera toujours vrai, affirme M. Vorsselman, que la quantité d'électricité nécessaire à la production d'un effet physiologique sera toujours infiniment plus petite que celle exigée pour la déviation de l'aiguille la plus sensible.

Pour produire ses signaux à la distance de 2 lieues à peine, Steinheil employait une bobine entourée d'un fil de 36,000 pieds de longueur : or, avec une machine électro-magnétique dont la bobine serait entourée d'un fil de 1,500 mètres au plus, on peut causer une commotion très vive à une chaîne de quatre personnes, et par conséquent à une seule personne faisant partie d'un circuit de 32 lieues. Quels effets physiologiques n'obtiendrait-on pas avec l'appareil monstre de Steinheil ! Ces effets sont beaucoup plus intenses encore, comme tout le monde le sait, quand on emploie les courants d'induction secondaires. Avec une pile assez petite et une simple bobine recouverte d'abord d'un fil ayant 29 mèt. de longueur et de 1/35 de mill. de diamètre, puis d'un fil de 1,500 pieds de longueur, et de 3/10 de mill. de diamètre, on fait ressentir à quinze personnes à la fois une secousse fort sensible, et que ressentirait encore une seule personne à 77 lieues de distance. Et qu'on remarque encore une fois que, dans cette dernière expérience, le fil conducteur pourra être aussi petit que l'on voudra, et sera par conséquent peu dispendieux, tandis que lorsqu'il s'agit d'effets magnétiques, le fil conducteur doit avoir un diamètre assez grand, et coûter par conséquent très cher.

Après ces assertions préliminaires dont je lui laisse toute la responsabilité, M. Vorsselman de Heer arrive enfin à la description de son télégraphe physiologique. Il emploie dix fils : c'est beaucoup, c'est énorme; mais comme ils sont très fins, il y aura encore, dit-il, économie grande. Ces dix fils, à leurs extrémités, sont fixés à dix touches parfaitement égales, qui ne sont unies entre elles par aucune liaison métallique, et que l'on pourrait même isoler. Les deux appareils qui donnent et recouvrent les signaux étant parfaitement semblables, il suffira d'en décrire un seul.

Digitized by Google

Chaque touche est double, leur ensemble forme deux claviers placés l'un au-dessus de l'autre. La touche supérieure communique à la touche inférieure par une liaison métallique ; on peut à volonté abaisser l'une par l'autre; elles viennent ensemble plonger dans deux vases pleins de mercure au moyen de fils de cuivre qui se recourbent perpendiculairement à leur extrémité ; les vases pleins de mercure sont mis convenablement en communication entre eux et avec les pôles de la pile.

On voit que l'on peut par cette disposition communiquer une commotion ou secousse à deux quelconques des dix doigts, ce qui donne $\frac{10 \times 9}{2}$ ou quarante-cinq combinaisons différentes.

Les combinaisons qui se produisent lorsqu'on fait passer le courant à travers un doigt de la main droite et un doigt de la main gauche sont au nombre de vingt-cinq ; elles peuvent avoir pour destination de désigner les vingt-cinq lettres de l'alphabet.

Ajoutons que les commotions des deux doigts ne sont pas égales. Le doigt dans lequel les nerfs sont parcourus suivant la direction de leur épanouissement, c'est-à-dire le doigt par lequel le courant sort, est fortement ébranlé. Il arrive par là quelquefois que la commotion dans l'un des doigts est très sensible, tandis que l'autre doigt est à peine affecté ; on pare à cet inconvénient par un moyen très simple : quand on abaisse les deux touches, on ferme le circuit: on le rompt quand, laissant les deux touches abaissées, on retire les doigts ; les courants secondaires produits dans cette seconde opération sont de sens contraires : le doigt le plus impressionné d'abord le sera moins ensuite, et réciproquement ; il ne pourra rester de cette manière aucun doute sur les deux doigts qui ont reçu la commotion.

Les combinaisons qui répondent aux cas où le courant passe par deux doigts de l'une des mains, de celle, par exemple, qui repose sur les cinq touches du clavier supérieur, sont au nombre de dix ; on peut leur faire signifier les dix chiffres. Il restera encore dix autres signes qui pourront servir à noter la fin des mots, des phrases, de la dépêche ; à indiquer si la dépêche est destinée finalement à la station qui la reçoit actuellement, ou si elle doit être ultérieurement transmise ; si l'on reçoit réellement les signaux, etc.

On comprend maintenant le mécanisme entier de l'appareil. Si le second observateur B a reçu une dépêche, et veut y répondre, ce sera à lui à mettre ses gants pendant que l'observateur A mettra ses dix doigts sur les touches du clavier. En faisant subir aux tou-

Digitized by Google

ches une petite modification, l'observateur A pourra, s'il le veut, transmettre ces signaux à un troisième observateur C, immédiatement après les avoir perçus.

M. Worsselman de Heer a fait construire son appareil par un organiste habile, M. Holtgrevs, et il l'a fait fonctionner le 31 janvier 1839, dans l'une des réunions de la société de physique de Deventer. Tous les membres de cette société ont expérimenté ce mode de transmission des signaux et l'ont trouvé fort efficace. Les secousses étaient très sensibles; avec un peu d'exercice on arrivait à transmettre et recevoir plus rapidement les signaux qu'on n'aurait pu le faire par aucun autre télégraphe. Toutes les personnes ne sentaient pas la commotion au même degré; mais en faisant varier l'électro-moteur, on les rendait perceptibles aux organisations les plus rebelles.

Jusque là le télégraphe n'était pas encore complet; il fallait que M. Worsselman indiquât par quel moyen il rendrait l'observateur attentif à la dépêche qu'il s'agit de transmettre, car il aurait été absurde de le condamner à rester jour et nuit les doigts attachés aux touches des claviers. Pour atteindre ce but, il fait communiquer par un conducteur métallique les cinq touches de chaque clavier, lorsque le télégraphe ne fonctionne pas, et fixe à ces deux claviers deux fils suffisamment longs, qui se terminent par des cylindres ou des plaques de cuivre ou d'argent. Il suffira de tenir à la main ces deux cylindres, ou de fixer les deux plaques à une portion quelconque du corps, pour être averti par une secousse que l'on doit recevoir une dépêche. L'observateur, armé de cet appareil, pourra même se mettre au lit, la secousse sera toujours assez forte pour le réveiller. Il suffirait d'un anneau dont les deux moitiés seraient isolées, que l'on porterait au doigt, et auquel on attacherait les fils qui viennent du clavier pour appeler l'attention de l'observateur.

M. Worsselman formule ainsi ses conclusions :

1° Le télégraphe électro-physiologique est le seul qui puisse être employé quand il s'agit de franchir des distances très considérables.

2° Même à de petites distances, le télégraphe physiologique a un avantage réel sur le télégraphe magnétique; les fils conducteurs qu'il emploie peuvent avoir un diamètre incomparablement plus petit, ce qui diminuerait les frais d'installation.

3° Le mécanisme du télégraphe physiologique est beaucoup plus simple, beaucoup moins coûteux. M. Morse évalue à 1,500 fr. l'appareil de chaque station; celui de M. Worsselman ne coûterait

Digitized by Google

complet que 200 fr. Comme la quantité d'électricité exigée pour obtenir des effets de commotion suffisants est beaucoup plus petite que dans le télégraphe magnétique, il y aura encore sous ce rapport une grande économie.

On me pardonnera d'être entré dans de si grands détails relativement à un projet qui au premier abord répugne entièrement.

La télégraphie électrique, en Angleterre, est arrivée à l'état adulte; mais une plus longue expérience manifestera peut-être des inconvénients secondaires. La question, si simple en apparence, des fils conducteurs soulève en ce moment en France de grandes difficultés. Les fils employés jusqu'à présent sont en cuivre, et d'un assez gros diamètre : or, ils deviennent tellement cassants, qu'ils rendent le service de la ligne comme impossible; au moment où l'on s'y attend le moins ils se brisent. Voici quelle serait la cause de cette fragilité consécutive : sous l'action de la chaleur le cuivre s'allonge considérablement; il se raccourcit quand la température diminue; mais le raccourcissement est toujours moindre que l'allongement; il y a donc un déplacement moléculaire, par suite duquel le fil s'amincit considérablement et finit bientôt par se briser.

Cet inconvénient a été si grave dans ces dernières semaines, que l'on est forcé de rejeter les fils conducteurs en cuivre qui ont coûté plus de 200,000 fr. Que leur substituera-t-on? Des fils en fer : les effets de variations de température seront certainement moins sensibles, le déplacement moléculaire sera moins grand, le fil s'amincira moins; mais n'est-il pas à craindre que, sous l'influence incessante du courant, la constitution intime du fer change, qu'il acquière une sorte de cristallisation qui lui enlèvera sa malléabilité, et le rendra plus cassant peut-être que le fil de cuivre? Et d'ailleurs la conductibilité du fer est sept fois moins grande que celle du cuivre, la force électro-motrice devra donc être sept fois plus grande. Qui oserait dire que dans certaines contrées on ne sera pas condamné à n'employer pour conducteur que des fils très fins? Mais alors le télégraphe physiologique ne pourrait-il pas devenir une nécessité? Les fils de fer en Angleterre font un bon service.

Il est certain que là aucun des inconvénients énumérés par M. Worsselman de Heer ne s'est présenté. M. Wheatstone a construit sans peine des appareils électro-magnétiques qui ont donné la quantité d'électricité nécessaire pour obtenir tous les effets désirés; la sensibilité des appareils galvanométriques est telle que, sur des longueurs de plus de trente lieues, les piles à effet constant ont parfaitement fonctionné. Sous ce rapport, par conséquent, les recherches du professeur de Deventer ont en ce moment moins

Digitized by Google

d'intérêt; mais qui oserait dire qu'elles n'en auront pas un très grand dans l'avenir?

SIXIÈME ET DERNIÈRE ÉPOQUE.

M. Wheatstone, (secundo).

Les résultats étonnants auxquels M. Wheatstone était parvenu à l'aide de son premier appareil l'en couragèrent à le perfectionner; il y arriva dans un temps très court, et dès 1840 son télégraphe avait atteint le plus grand degré de simplicité. Je ne conçois pas qu'on ait essayé de rattacher l'invention de ce nouveau mécanisme au mois de juillet 1841, puisque dès 1840 le télégraphe perfectionné fonctionnait en grand sur des lignes de chemin fer.

Voici d'ailleurs un document authentique que l'on ne récusera pas. M. Quételet entretint l'Académie des sciences de Bruxelles, dans la séance du 17 octobre 1840, des expériences que M. Wheatstone venait de faire à l'observatoire royal, au moyen du nouveau télégraphe électrique de son invention. La note suivante a été insérée dans les comptes-rendus de l'Académie de Bruxelles, t. VII, deuxième partie, p. 131 et 132.

« Les nouveaux appareils, beaucoup plus simples que ceux que M. Wheatstone avait imaginés d'abord, transmettent les signaux avec la rapidité de la pensée, puisque dans l'espace d'une seconde ils pourraient faire six à sept fois le tour du globe. D'une autre part leur volume est si peu considérable, que l'appareil qui donne les signaux, celui qui les reçoit et la pile galvanique qui fournit la force motrice, peuvent être renfermés sans peine dans une caisse de moins d'un demi-mètre cube : leur prix ne s'élève pas au-delà de 25 livres sterling. Deux cadrans circulaires, placés aux deux stations extrêmes, et mis en rapport au moyen de deux fils conducteurs isolés, portent les diverses lettres de l'alphabet. En amenant successivement les lettres devant un indicateur, au moyen du cadran d'où partent les signaux, on fait que ces mêmes lettres se reproduisent instantanément devant un indicateur semblable, sur le cadran où les signaux sont reçus. Trente lettres au moins peuvent être transmises par minute, de manière que l'on fait immédiatement la lecture des mots.

» Lorsque les signaux vont être transmis, on a soin pour appeler dans la station opposée l'attention des personnes qui doivent faire les lectures, de faire sonner un timbre ou alarme. M. Wheatstone a trouvé un moyen très ingénieux pour faire sonner à volonté, même la cloche la plus forte. Si le fil conducteur vient à se rompre, il fait reconnaître par un appareil très simple l'endroit

Digitized by Google

où la rupture a eu lieu, lors même que le fil se trouverait caché sous le sol. Une longue expérience lui a fourni toutes les ressources nécessaires pour parer aux inconvénients qui peuvent résulter de l'établissement de ces télégraphes, qui du reste fonctionnent déjà en Angleterre depuis plusieurs années sur des étendues plus ou moins longues de chemin de fer.

» On sera sans doute charmé d'apprendre que l'auteur a trouvé le moyen de transmettre les signaux entre l'Angleterre et la Belgique, malgré l'obstacle de la mer.

» Sous le point de vue scientifique, les résultats qu'on peut recueillir des télégraphes électriques de M. Wheatstone sont immenses. Ainsi, pour les localités par où passera la ligne télégraphique, la détermination des longitudes, l'une des opérations les plus délicates de l'astronomie pratique, n'offrira plus la moindre difficulté. D'une autre part, d'après une disposition particulière, une pendule peut donner l'heure à toute une maison, à toute une ville, même à tout un pays. Les pendules auxiliaires qui marquent les heures, les minutes et les secondes aux mêmes instants que la pendule régulatrice ne se composent que d'un seul cadran : aussi M. Wheatstone les nomme *squelettes de pendules*, et il estime leur prix à une ou deux livres sterling. L'auteur compte aussi employer ses procédés pour mesurer avec une précision qu'il croit pouvoir porter à un centième de seconde la vitesse des projectiles. Il serait difficile de limiter les applications auxquelles se prêteront les ingénieux appareils de M. Wheatstone. »

Ainsi donc, cette fois un seul fil conducteur, aucun effet dynamique produit par l'action directe du courant, plus d'aiguilles déviées, etc., etc. Le courant n'a à produire par son passage que l'aimantation d'électro-aimants artificiels; ces électro-aimants attirent de petits morceaux de fer doux; ces petits morceaux de fer doux, déplacés pour revenir immédiatement à leur position première, sous l'action de petits ressorts, ont laissé agir des mouvements d'horlogerie; une des dents de chaque roue d'échappement a passé, tous les cadrans mobiles qui portent les lettres et les manifestent à distance ont avancé d'un pas, et amené tous la même lettre devant l'indicateur. Ainsi les caractères à transmettre sont distribués sur la circonférence de la roue qui porte l'appareil électro-magnétique : on amène par la rotation de la roue celui des caractères que l'on veut à une position fixe et déterminée, aussitôt les cadrans mobiles le répètent aux deux extrémités de la ligne, comme à toute station intermédiaire où le fil télégraphique entourera un appareil indicateur.

Digitized by Google

C'est évidemment la perfection, et je ne comprendrais pas que l'on voulût essayer de le nier : aussi ne l'a-t-on pas fait; on s'est contenté de disputer à M. Wheatstone la gloire de son admirable invention : et, comme l'entreprise était encore trop difficile, on a a fait mieux encore, on a organisé contre le créateur de la télégraphie électrique la persécution du silence. J'ai lu de longs articles où l'histoire des télégraphes électriques était écrite par des hommes habiles, et où le nom de M. Wheatstone n'était pas même prononcé. De longues communications ont été faites à ce sujet à l'Académie des sciences et à la Chambre des députés, sans qu'on ait rappelé, même en passant, les droits à la reconnaissance publique du savant ingénieur à qui la télégraphie électrique doit sa théorie, ses principaux progrès et sa perfection.

Je ne dirai que quelques mots des luttes ardentes et passionnées que M. Wheatstone a dû soutenir, luttes dont, en France, l'objet a été méconnu et le caractère défiguré.

Cooke et Wheatstone.

M. Cooke ne disputait pas à M. Wheatstone la priorité, le mérite et la gloire de son invention; la querelle n'était au fond qu'une querelle d'amour-propre trop commune entre associés; M. Cooke voulait que tous les appareils dont l'exploitation était précisément l'objet de la société constituée entre eux portassent à la fois les noms des deux associés : Wheatstone et Cooke. Le savant physicien repoussait cette prétention, parce qu'elle lui paraissait illégitime; il voulait que son nom figurât seul sur les appareils exclusivement inventés par lui, et n'admettait la présence des deux noms que sur les instruments fruits de recherches communes.

Des arbitres furent nommés; parmi eux figurent des noms célèbres, ceux de Daniell et de Brunel; la paix fut rétablie entre les associés.

Les appareils qui, de fait, fonctionnent en Angleterre, ont conservé, par suite de l'arbitrage, le seul nom de M. Wheatstone. Des modifications importantes adaptées à certains besoins particuliers, à certaines circonstances spéciales, seront signées à la fois par MM. Wheatstone et Cooke; d'autres modifications plus secondaires appartiendront enfin exclusivement à M. Cooke, qui n'est pas un physicien de renom, mais bien un mécanicien habile qui, comme nous l'avons déjà rappelé, avait lui-même inventé un télégraphe qu'il abandonna pour exploiter en commun le brevet de M. Wheatstone.

Digitized by Google

Bain.

Arrivons à la controverse suscitée par M. Bain, qui n'était pas pour M. Wheatstone un associé, mais un contre-maître. M. Bain a pris, le 6 février 1843 seulement, une patente pour un nouveau télégraphe dont voici les dispositions fondamentales. Le circuit est formé d'abord par la terre dans laquelle sont plongées aux deux stations deux plaques métalliques de cuivre. Sous l'influence du courant, de fortes hélices métalliques traversées par lui, et douées par conséquent d'une action magnétique, sont déviées par des aimants permanents placés dans leur voisinage. Dans ces conditions, les rouages des deux appareils sont arrêtés; mais aussitôt que le courant cesse, les hélices n'étant plus attirées, sont amenées par un ressort dans une position qui permet au rouage de marcher jusqu'au moment où le courant est rétabli. Dans chaque machine est un cadran portant les signes convenus pour les dépêches; et, en face de chaque signe, est un trou qui peut recevoir une cheville métallique. Le circuit est fermé, et le courant passe quand l'aiguille du cadran est en contact avec cette cheville, d'où il résulte que l'appareil marche aussi longtemps que l'aiguille et la cheville cessent de se toucher.

Si donc la cheville et l'aiguille étant en contact au zéro du cadran, on enlève la première pour la placer dans un des autres trous de ce même cadran, la machine se mettra en marche jusqu'à ce que l'aiguille vienne toucher la cheville. Mais comme les deux machines sont absolument semblables, et que l'hélice de la première station est déviée en même temps que celle de la seconde, que son ressort la rappelle aussi au même instant pour laisser marcher son rouage, il en résulte que l'aiguille de la seconde station quittera son zéro en même temps que celle de la première, et s'arrêtera sur le même signe qu'elle, puisque le mouvement des deux machines cesse simultanément. Ajoutons que les choses sont disposées de manière qu'une roue portant en relief les mêmes signes que ceux du cadran, marche en même temps que l'aiguille, et qu'au moment où celle-ci s'arrête, un papier qui a également marché est pressé contre un tissu garni de noir de fumée interposé entre lui et la roue, don le mouvement a amené le signe choisi au point où la pression s'exerce, et qui détermine l'impression de ce signe sur le papier.

Voilà la description assez fidèle du télégraphe de M. Bain, telle qu'elle nous est donnée par un des hommes les moins favorables à M. Wheatstone. Or, je le demande à tout lecteur impartial, ce télégraphe est-il fondé sur quelque principe nouveau? N'est-il

Digitized by Google

pas une modification peu importante, très secondaire même, du télégraphe de M. Wheatstone, et l'esprit le plus pénétrant peut il y voir quelque avantage réel? Evidemment non. Il y a cependant dans le travail de M. Bain quelque chose de nouveau que M. Wheatstone ne lui dispute pas : c'est l'impression immédiate de la dépêche à l'aide du cadran indicateur lui-même, que l'on presse contre le papier chargé de noir de fumée ou de sanguine. Ce perfectionnement, car c'en est un, appartient réellement à M. Bain. M. Wheatstone, pour écrire les dépêches, recourait à un appareil distinct assez compliqué, garni de touches portant des caractères en relief et de marteaux qui, en frappant les caractères, les imprimaient sur le papier en plusieurs exemplaires si l'on voulait. Voilà surtout ce que M. Bain réclamait. Aussitôt que ses droits à la priorité ont été sous ce rapport bien reconnus, il s'est déclaré satisfait; il semble qu'il n'ait modifié certaines parties du mécanisme de M. Wheatstone que pour pouvoir éluder la patente prise depuis longtemps par ce dernier, et n'être pas forcé de se borner à l'exploitation de son mode d'impression.

MM. Wheatstone et Bain sont maintenant d'accord, un compromis règle leurs droits, et j'ai peine à deviner par quel motif on a voulu montrer en France comme subsistante une querelle sans portée, assoupie depuis longtemps en Angleterre.

Il est bien plus ridicule encore de vouloir que la querelle de MM. Wheatstone et Bain ait eu pour objet la découverte du fait mal désigné sous le nom de conductibilité de la terre, et dont il résulte que la terre peut remplacer le fil de retour du courant, et même une portion du fil d'aller. Je n'ai pas vu sans surprise affirmer que M. Wheatstone prétendait aussi à cette découverte, ce qui est véritablement absurde; il ne l'est pas moins de la revendiquer pour M. Bain, car, qui ne sait que, dès 1803, Aldini avait prouvé par une expérience remarquable que le courant pouvait s'établir lorsqu'une partie considérable du circuit, 200 pieds, était formée par l'eau de la mer? L'expérience avait eu lieu à Calais, entre le fort Rouge et le môle de l'ouest; les personnes qui se placèrent dans le circuit reçurent des commotions très énergiques. Nous avons vu qu'en 1837, cinq ans avant l'expérience faite par MM. Bain et Wright sur la rivière Serpentine, au mois de juin 1842, M. Steinheil n'avait donné à son télégraphe qu'un seul fil conducteur, et que même il avait remplacé par la terre la moitié de ce conducteur unique. Les droits d'Aldini et de Steinheil ont été hautement reconnus par M. Wheatstone, qui, en 1840, répétait avec M. Jacobi, sur un des chemins de fer de l'Angleterre, l'essai du télégraphe électrique avec un seul fil. Il y a plus, M. Quételet a annoncé

Digitized by Google

en 1840 que M. Wheatstone avait trouvé le moyen de transmettre les signaux entre l'Angleterre et la Belgique, malgré l'obstacle de la mer. Le si ingénieux physicien anglais n'est pas de ces hommes qui s'avancent témérairement, qui promettent ce qu'ils ne pourront pas tenir; il a déjà réalisé tant de merveilles plus difficiles à concevoir que cette correspondance à travers les mers, que nous sommes assurés de la voir s'établir sans trop de délais.

Voilà la vérité sur les discussions de M. Wheatstone avec MM. Cooke et Bain, discussions dont on a réveillé chez nous le souvenir dans un but tristement hostile à l'un des hommes qui ont le plus enrichi la science de découvertes vraiment originales. Il est donc vrai qu'il entre dans les destinées du mérite éminent de soulever une opposition mesquine, des haines aveugles et impuissantes. Toutes les inimitiés au moins n'empêcheront pas que de fait et partout où la télégraphie électrique est réalisée, les appareils employés et qui donnent des résultats tout-à-fait satisfaisants, qui répondent pleinement aux besoins d'un service régulier, sont ceux de M. Wheatstone avec des modifications tout-à-fait secondaires, j'ose même dire insignifiantes, au moins sous le rapport du principe; de sorte que, bon gré, mal gré, la solution du problème de la correspondance instantanée à distance très grande est liée essentiellement au nom désormais immortel du physicien anglais.

Nous ne parlerons pas des tentatives nombreuses faites depuis les derniers travaux de M. Wheatstone; elles ne renferment certainement rien de neuf, et je ne crains pas de trop engager l'avenir en affirmant que les appareils de télégraphie électrique sortis des mains de M. Wheatstone sont arrivés à un si grand degré de simplicité et de perfection que quelques détails secondaires de construction, ceux qui tiennent au mouvement d'horlogerie par exemple, sont seuls susceptibles de quelques améliorations : on ne les modifierait plus substantiellement qu'en les compliquant.

On s'attend sans doute à trouver ici le récit abrégé des essais de télégraphie faits en Angleterre, en France et ailleurs, dans ces dernières années.

M. Wheatstone avait répété au Collége de France, en 1837 et 1840, ces curieuses expériences en présence d'un grand nombre de savants, sans que de si étonnants résultats eussent excité assez l'attention pour qu'on songeât immédiatement à les reproduire en grand. Il était décrété que l'Angleterre nous précéderait de toutes manières dans cette magnifique application des sciences; que nous consentirions encore cette fois à nous laisser traîner tristement à la remorque d'une nation rivale; nous nous étions résignés de si bon

Digitized by Google

cœur à accepter d'elle la navigation à la vapeur inventée par nous, à copier servilement ses chemins de fer ; nous avions même eu si bien le malheureux courage de nous laisser devancer par les plus petites nations ; nous avions, en un mot, fait preuve d'une si effrayante inertie, que, s'il faut s'étonner de quelque chose, c'est que nous ayons enfin un télégraphe électrique.

Cette découverte admirable, qui fait disparaître les distances que l'excessive rapidité des voies de fer ne diminuait pas encore assez, a fait, au contraire, en Angleterre des progrès rapides, et des lignes de télégraphie électrique la sillonneront bientôt en tous sens. Bornées jusqu'ici aux chemins de fer, elles s'émanciperont sans trop de retard : les trois royaumes unis seront par elles comme concentrés en un seul point.

Je n'ai pas la prétention d'énumérer toutes les lignes de télégraphie électrique établies en Angleterre ; j'indiquerai seulement par quelques exemples choisis l'utilité immense de ce mode de communication instantanée : citons d'abord la ligne de Londres à Blackwall, l'une des premières établies.

Le service de ce chemin de fer exceptionnel, qui n'est guère qu'un plan incliné, se fait par deux machines fixes. Chacune d'elles tire une corde à laquelle les convois sont attachés. Un convoi part tous les quarts d'heure des stations extrêmes, tandis qu'un ou deux wagons partent de chaque station intermédiaire, pendant douze ou treize heures de la journée ; chaque jour, de cette manière, soixante convois environ parcourent le chemin de fer dans les deux directions. Chaque wagon est attaché par une agrafe à la corde qui doit l'entraîner dans son mouvement, et qui passe au-dessous de lui ; et si le gardien ou le surveillant avait négligé d'accrocher son wagon à la corde avant qu'elle commençât à se mouvoir, il ne pourrait plus y parvenir ensuite ; un grand danger deviendrait imminent. Par cela même que le moteur ou la machine fixe est à quatre milles du convoi qu'il doit entraîner, il en résulte une grande et terrible incertitude sur l'instant capital où il commence à exercer sa force de traction. Pour obvier à ce grave inconvénient et prévenir bien des accidents, on a organisé le long de ce chemin un système complet de communication télégraphique à l'aide duquel les personnes de chaque station savent la situation précise du convoi et des wagons à toutes les autres stations.

Il y a à la station de Minories une salle appelée salle du télégraphe où est placée debout une caisse large à peu près comme une caisse de piano. Dans le compartiment inférieur de cette boîte est une petite pile de Volta avec zinc, cuivre et acide étendu d'eau,

Digitized by Google

formant la source motrice à cette extrémité du télégraphe; au-dessus, et sur la face antérieure de la caisse se trouvent différents cadrans munis chacun d'un index ou aiguille. Chaque indicateur porte un petit manche qui, mû par un employé, met la pile en communication avec un petit aimant situé derrière l'aiguille, laquelle aussitôt est déviée à droite ou à gauche. A l'autre station extrême, ainsi qu'aux stations intermédiaires de Shadwell, Stepney, Limehouse, West-Indies-Docks et Poplar, sont d'autres appareils semblables aux premiers. Des fils de laiton enfermés dans des tubes de verre, et courant le long de la ligne, mettent en rapport tous ces appareils, de telle sorte que tous les index, déviant à la fois dans le même sens et de la même quantité, donnent à chaque station les mêmes indications. Si donc avec l'emploi d'un nombre suffisant d'index on convient d'un alphabet, on forme une table de signaux, ces signaux pourront être reproduits par les positions relatives des index.

Sur le côté de la boite télégraphique et vers le haut, est suspendue une large carte contenant environ une centaine de phrases, d'instructions ou de questions dont chacune est reproduite par la position particulière des aiguilles. Ainsi, deux mouvements des manches indicateurs transmettent les questions suivantes : le convoi attendra-t-il le bateau à vapeur? Le bateau à vapeur attendra-t-il le convoi? Combien de passagers? Combien de wagons? etc., et une multitude d'autres relatives à l'état des machines, des cordes, des télégraphes, aux bateaux à vapeur qui partent de Blackwall ou qui y arrivent. Par cet échange de communication qui a lieu le long du jour, on obtient à la station de Londres tous les renseignements possibles sur ce qui se passe à Blackwall, et réciproquement, ainsi que dans les stations intermédiaires. Aussitôt que le chef de gare de chaque station a attaché les wagons à la corde, il en donne avis au mécanicien de celle des stations extrêmes vers laquelle le convoi s'avance, et celui-ci ne met la corde en mouvement que lorsqu'il a ainsi appris de toutes les stations que rien ne s'oppose à la progression du convoi.

L'exactitude de ce mode de communication est si absolue, sa régularité est si parfaite, que l'on a été conduit par là à examiner sous un nouveau point de vue certaines questions fondamentales relatives aux chemins de fer. Le plus grand nombre des lignes projetées ne donneront jamais, en France surtout, un intérêt suffisant pour les sommes dépensées dans leur exécution, à moins que ces dépenses ne soient réduites autant qu'il sera possible : aussi a-t-on proposé

Digitized by Google

de n'employer sur toutes ces lignes qu'une seule voie ou une seule couple de rails, avec des gares de croisement ou d'évitement de distance en distance; on suppléerait à la seconde voie par l'emploi du télégraphe électrique. Les défenseurs de ce système assurent qu'une seule ligne pourvue d'un télégraphe est non seulement plus économique, mais même plus sûre qu'une double ligne sans télégraphe, si l'on en excepte toutefois les lignes de grande communication, pour lesquelles une seule voie sera tout-à-fait insuffisante.

On peut voir par ce qui précède que le télégraphe de M. Wheatstone, alors même qu'il était encore dans l'enfance, rendait des services éminents, et fonctionnait d'une manière pleinement satisfaisante. Il fut employé sous sa première forme de télégraphe à aiguilles, et pendant un temps plus ou moins long, sur les chemins de fer du Great-Western, de Blackwall, de Manchester à Leeds, d'Edimbourg à Glascow, de Norwich à Yarmouth, de Dublin à Kingstown.

Nous citerons comme second exemple l'application du télégraphe perfectionné au plan incliné d'Aix-la-Chapelle. Le service de cette portion de chemin de fer ne demandait qu'un petit nombre de signaux; on pouvait se dispenser sans inconvénient aucun d'employer l'alphabet entier du télégraphe complet, et limiter l'appareil à six signaux élémentaires. On a donc écrit sur le cadran ces six caractères, M, S, C, T, B, + initiales des mots qui expriment en allemand *machine*, *corde*, *train*, *télégraphe*, etc. Le cadran avait huit pouces de diamètre, et les caractères étaient assez saillants pour qu'on pût les lire facilement à une grande distance : l'aiguille, qui devait être très légère et conserver toujours sa forme première, était de mica noirci. La croix était destinée à indiquer l'état de repos de l'instrument; il ne restait donc que cinq caractères utiles, lesquels combinés deux à deux donnaient vingt-cinq signaux, nombre amplement suffisant pour le service du plan incliné. On avait établi en règle invariable que chaque signal serait composé de deux lettres suivies de la croix. Dès lors, si le télégraphe, venant à agir d'une manière irrégulière, la position finale de l'aiguille ou index marquât, non la croix, mais un autre caractère, ce seul fait indiquerait que les signaux précédents étaient fautifs. S'il arrivait donc, par conséquent, par un accident quelconque, que le signal reçu ne s'accordât pas avec le signal transmis, il ne pourrait en résulter aucune méprise, aucun malentendu, parce que chaque dépêche porte avec elle-même son contrôle ou la manifestation de l'erreur commise. L'instrument était muni d'un mécanisme très simple à l'aide

Digitized by Google

duquel on pouvait amener l'aiguille immédiatement devant une lettre quelconque sans lui faire parcourir tout le circuit. Comme il peut arriver qu'il faille transmettre un signal permanent ou qui persiste jusqu'à ce qu'une personne vienne le regarder, on peut employer pour cet objet la simultanéité des cinq caractères élémentaires.

L'appareil, à chaque station, se composait d'un télégraphe, d'un réveil ou alarme, et d'un commutateur destiné à changer la direction des courants. On pouvait *disposer* le circuit, de manière à atteindre divers buts sans qu'il fallût pour cela d'autres modifications qu'un changement dans la disposition des fils extrêmes et leur liaison avec le commutateur. Dans une certaine disposition, les télégraphes fonctionnaient tous simultanément dès que l'un des commutateurs était en action. On pouvait aussi tout arranger de manière que l'instrument d'une station ne fonctionnât qu'autant qu'il était en communication directe avec l'appareil d'une autre station. Cette dernière disposition est en général préférable, parce que, par ce moyen, on se débarrasse d'une résistance inutile. Ce télégraphe, alors même qu'on eût employé toutes les lettres de l'alphabet, n'aurait exigé qu'un fil.

Dès le commencement de 1842, M. Wheatstone avait établi à Berlin deux de ses télégraphes. La ligne de communication était un simple fil métallique supporté en plein air par des poteaux de bois; des plaques de métal attachées aux extrémités du fil complétaient le circuit. Le succès de ces appareils fut complet.

Dans cette même année, le célèbre professeur établit une correspondance électrique entre Kings-College et Shat-Tower, sur la rive opposée de la rivière. Le fil conducteur s'étendait le long des parapets de Somerset-House, du pont de Waterloo, et de là au sommet de la Tour, où l'un des télégraphes était placé. De là le fil descendait et se terminait par un plaque de zinc plongée dans la vase de la rivière; une plaque semblable, attachée à l'extrémité du fil de l'autre côté de la rivière, plongeait aussi dans l'eau, de telle sorte que le circuit était ainsi complété par la largeur entière de la Tamise; c'était une modification importante en apparence, et cependant la correspondance fut aussi ponctuellement, aussi fidèlement transmise, que si le courant était revenu par le gros fil de cuivre.

Les faits que nous venons de rappeler étaient connus depuis longtemps, et l'on avait obtenu des télégraphes électriques les résultats les plus étonnants sans qu'on s'en émût en France. Rappelons quelques dépêches curieuses.

Au mois de janvier 1844, un assassinat fut commis à Salt-Hill,

Digitized by Google

et l'assassin, s'étant rendu immédiatement à Slough, y prit une place pour Londres dans le convoi du chemin de fer qui passait à 7 heures 42 minutes du soir. La police, avertie du crime, était déjà à la poursuite du coupable. Elle arriva à Slough presque au moment où le convoi devait arriver à Londres. Mais le télégraphe électrique fonctionnait. Aussitôt on envoya à Paddington la dépêche suivante : « Un meurtre vient d'être commis à Salt-Hill. L'individu soupçonné d'être l'auteur de ce crime a été vu prenant un billet de voiture de première classe. » Trois minutes après, la réponse suivante arrivait à Slough : « Le convoi vient d'arriver : un individu, répondant sous tous les rapports au signalement donné par le télégraphe, est sorti du compartiment désigné. Il est arrêté. »

Il y a peu de temps, un convoi du chemin de fer avait apporté à Norwich la nouvelle de la chute du pont suspendu de Yarmouth. Qu'on juge de l'inquiétude et de l'effroi des habitants ; ils avaient presque tous leurs enfants en pension à Yarmouth. Ils coururent en foule à la station du chemin de fer, demandant à grands cris des nouvelles de leurs enfants. « Tous les enfants sont sauvés, » dit le télégraphe électrique.

Le *Times* racontait dans son n° du 15 avril 1844, que la première nouvelle du retour d'Allemagne de son altesse royale le prince Albert, samedi dernier, parvint à sa majesté au château de Windsor par le télégraphe électrique. L'annonce de ce retour atteignait Slough une minute après l'arrivée du prince à Paddington. A cette station, un courrier spécial, qui stationnait là par ordre de la reine, monta le cheval le plus rapide des écuries de sa majesté, partit avec l'agréable nouvelle, et arriva à Windsor en 8 minutes et demie. De cette manière, la nouvelle du retour du prince royal parvint à sa majesté la reine d'Angleterre, près de laquelle se trouvaient alors le roi et la reine des Belges, moins de 10 minutes après l'arrivée du prince à Paddington, 40 minutes avant que le prince atteignit la résidence royale de Windsor.

On lisait enfin ces jours derniers dans le *Baltimore Advertiser*, journal américain : « Le télégraphe électro-magnétique établi entre Baltimore et Washington a donné des résultats qui dépassent toutes les expériences depuis que cette voie de communication a été placée aux mains de l'administration des postes. Au moyen du télégraphe, on transmet continuellement la correspondance entre les marchands des deux villes. Il arrive fréquemment que des ordres reçus ici pour Washington, à une heure de l'après-midi, sont exécutés de suite, et que les marchandises emballées sont prêtes à partir par le

Digitized by Google

convoi de trois heures, ou encore que de petits paquets demandés à quatre heures et demie sont expédiés par le convoi de cinq heures, qui arrive à Washington à sept heures et demie. Il y a entre Baltimore et Washington une distance de 75 milles anglais, environ vingt-cinq lieues.

(*La suite au prochain numéro.*)

NOMINATION DE M. LALLEMAND.

DES ATTAQUES DE LA GAZETTE DES HÔPITAUX CONTRE M. GERDY.

M. Lallemand, le célèbre auteur des lettres sur l'encéphale, vient d'être nommé membre de l'Académie des sciences à une imposante majorité. M. Gerdy, porté le second sur la liste, étant le candidat qui, après M. Lallemand, a obtenu le plus de suffrages, cette circonstance a réveillé la haine de la *Gazette des Hôpitaux* et ramené ce journal dans la voie des insultes personnelles et grossières qu'il semblait avoir abandonnée. Mais il ne pouvait conserver pendant bien longtemps le ton et les allures de la bonne compagnie, et ses vieilles habitudes ont bientôt repris le dessus. Dans un article du 8 juillet, signé J. Raimond, M. Gerdy est en butte à une de ces diatribes empruntées au *Père Duchesne*, que le journalisme moderne laisse à la brutalité de nos confrères politiques d'outre-manche. Mais pourquoi Jean Raimond en veut-il à M. Gerdy, et qu'est-ce que J. Raimond? Pendant quelque temps, on a pu croire ce pseudonyme transparent et abritant un seul personnage; mais il paraîtrait qu'il sert de voile à plusieurs noms propres. C'est à ce sujet qu'un journal a dit fort spirituellement: Mascarille se cache derrière le manteau de Crispin, et Crispin prête si souvent son manteau et le prête à tant de Mascarilles, qu'il n'y a plus moyen de s'y reconnaître. Or, à l'occasion de l'article dont il s'agit, je serais assez porté à croire que le manteau aurait servi à deux, voire à trois Mascarilles, car j'y trouve des contradictions qui trahissent une collaboration aussi passionnée que maladroite. Ainsi, dans une colonne on reproche à M. Gerdy la virulence de ses attaques, « *Sa parole imprévoyante et emportée ne connaît*, dit-on, *ni circonlocution, ni ambages; elle va brutalement frapper celui qu'elle désigne, et ce n'est pas à cet orateur qu'on peut repro-*

Digitized by Google

cher les ménagements perfides et les hypocrites précautions; non, M. Gerdy a au moins cela de bon, que quand il attaque ce n'est pas avec le stylet du bravo, mais avec une massue on ne peut plus visible. » Un peu plus loin, à la suite de ce paragraphe, écrit comme on prétend que M. Gerdy attaque, on change de système, on procède par insinuation : à l'insolent Crispin succède le cauteleux Bazile, on fait entendre que « *sous d'austères et granitiques apparences on trouve au fond la haine, l'envie, la calomnie ignoble et lâche se servant d'obscures et imbéciles intermédiaires, un penchont profond à la servilité...* » Que vous en semble? Est-ce bien là une même main qui a écrit ces spirituelles aménités? La haine et, qui sait? peut-être la vengeance sont bien illogiques, mais est-il possible de croire qu'un seul homme puisse être ainsi en contradiction avec lui-même?

Du reste, aux auteurs de toutes ces injures, qu'ils aient nom J. Raimond ou Jodelet de Mascarille, M. Gerdy ne répond que par un sentiment dont le manteau en question ne saurait les garantir; mais ceux qui le connaissent savent qu'il est autant au-dessus de pareilles diatribes qu'il est par sa probité, par son mérite et par son courage au-dessus de l'honnête pseudonyme qui l'attaque en cherchant, lui-même, à se mettre à l'abri de ses coups.

Ils savent également que jamais nomination de professeur ne fut à la fois plus glorieuse et mieux accueillie, car jamais on n'avait vu de rivaux plus nombreux et plus distingués. Enfin, ils savent que le scrutin ne permit pas le moindre doute sur les intentions du jury. En effet, les 12 juges se partagèrent ainsi :

Premier tour. M. Gerdy, 4; M. V., 4; M. B., 2; M. S., 2.

Deuxième tour. M. Gerdy, 4; M. V., 3; M. B. 3; M. S., 2.

Troisième tour. MM. V. et B., ballottés ensemble : chacun 6 voix; M. B. ne l'emporta que parce qu'il avait eu celle du président; mais, ballotté ensuite avec M. Gerdy, et abandonné par le président, il n'eut que 5 voix. Si la majorité ne voulait pas de M. Gerdy, pourquoi lui a-t-elle donné 7 voix, dont celle du président, et pas plus de 6 à MM. V. et B.

Digitized by Google

MÉMOIRE SUR LA TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRIQUE.

PARTIE HISTORIQUE.

(*Suite.*)

La magnifique invention des télégraphes électriques avait donc été reçue avec enthousiasme dans toute l'Europe : l'Amérique en retirait de grands fruits, et la France s'endormait dans son inertie. Bien plus, le gouvernement venait demander aux chambres des sommes considérables pour compléter et perfectionner sur plusieurs points les lignes télégraphiques ordinaires, si imparfaites, si dispendieuses; et même pour établir, avec des frais énormes, des télégraphes de nuit. S'obstiner ainsi à rester dans l'enfance de l'art quand le progrès apparaissait partout à l'âge adulte, c'était vraiment un spectacle affligeant. Les projets du gouvernement, vivement combattus par M. Arago, qui révéla à la France dans cette mémorable discussion les avantages incomparables du télégraphe électrique, furent heureusement repoussés : un autre savant, par nécessité de position sans doute, les avait soutenus. Il fut même amené, pour défendre une mauvaise cause, à présenter la correspondance instantanée obtenue par les courants électriques comme une brillante utopie qui ne se réaliserait jamais. Et cependant à l'heure même où cette malencontreuse assertion retentissait à la chambre des députés, le télégraphe électrique, devenu un appareil tout à-fait usuel, se jouait, grâce au génie de M. Wheatstone, de toutes les prévisions sinistres, et transmettait dans toutes les directions, avec la rapidité de la foudre, ses merveilleuses dépêches! Et cependant encore le savant qui se posait ainsi en travers du progrès, qui voulait faire rétrograder la science, était celui-là même qui, directeur du Conservatoire des arts et métiers, a reçu pour mission d'initier à toutes les découvertes modernes les nombreux auditeurs qui se groupent autour de lui. Il a depuis noblement pris sa revanche.

La protestation de M. Arago fut entendue, et l'on commença

Digitized by Google

à s'occuper en France du télégraphe électrique. L'illustre secrétaire de l'Académie portait à cette époque le plus vif intérêt à M. Wheatstone. Déjà, lors d'une première vacance à une place de correspondant dans la section de physique, 7 juillet 1838, M. Arago avait usé de son influence pour faire admettre le professeur de King's College comme candidat, en dehors d'une longue liste arrêtée par la section. Une nouvelle vacance se présenta plus tard, 6 juin 1842, et M. Arago fit obtenir sans peine le fauteuil académique au créateur alors incontesté de la télégraphie électrique.

L'un des employés supérieurs de l'administration des télégraphes, M. Foy, fit l'année dernière une excursion en Angleterre, et se mit en relation avec M. Wheatstone. On traita sérieusement de l'établissement en France d'une ligne télégraphique; les droits de l'inventeur paraissant alors sacrés, on stipula le prix de la gratification qui lui serait donnée pour l'emploi de ses procédés et la fourniture des instruments. M. Arago, ami aussi empressé qu'appréciateur éclairé du vrai mérite, pressait M. Wheatstone de venir à Paris et de mettre à sa disposition ses ingénieux appareils. Pourquoi faut-il que M. Wheatstone n'ait pas répondu à ces flatteuses avances? On lui avait parlé d'expériences à faire, de sommes considérables à dépenser en essais; peut-être que cette annonce d'essais nouveaux froissa son amour-propre, trop facile à blesser chez un inventeur qui était arrivé pleinement à son but après huit années de travaux incessants. Pour essayer d'expliquer comment la susceptibilité du savant physicien anglais a pu se révolter à la pensée d'expériences à refaire, je citerai la note par laquelle il annonce l'établissement de son télégraphe sur deux chemins de fer à Paris.

« Le télégraphe électrique que j'ai eu l'honneur de soumettre à plusieurs membres de l'Académie en 1841, au Collége de France, grâce à la complaisance de M. Regnault, fonctionne depuis le commencement de cette année sur la ligne de Paris à Orléans pour les deux premières stations, et sur la ligne de Paris à Versailles, rive droite.

» Une communication télégraphique journalière est maintenant établie entre Paris, Saint-Cloud et Versailles.

» Les instruments actuellement en action à la gare de Paris consistent principalement :

» 1° En un réveil pour appeler l'attention du correspondant;

» 2° En un télégraphe qui présente tous les caractères de l'alphabet, au moyen desquels les mots peuvent être épelés et les si-

Digitized by Google

gnaux télégraphiques transmis, à raison de vingt-cinq signaux par minute ;

» 3° En un télégraphe qui imprime à la fois plusieurs copies d'une dépêche en lettres ou chiffres ordinaires.

» D'autres instruments d'un usage spécial seront prochainement ajoutés à ceux qui précèdent.

» Sans entrer pour le moment dans une description détaillée de mes procédés, je me bornerai à faire remarquer que les appareils actuellement installés à Paris existent en Angleterre depuis 1837, et depuis 1840 dans leur dernière forme. Ils ont été soumis aux plus rudes épreuves et ils en ont toujours triomphé.

» On a fait parcourir aux signaux un chemin de 352 milles anglais, soit 140 lieues de France ; et ils se sont transmis avec la plus parfaite régularité, soit que le courant électrique ait été excité par la pile, soit qu'il l'ait été par des électro-aimants.

» Au moment de quitter Paris, je viens me mettre à la disposition de ceux de messieurs les membres de l'Académie qui désireraient voir fonctionner mes appareils. Quoique j'aie eu le plaisir de recevoir la plupart des membres de cette illustre Académie, j'ai l'honneur de prévenir ceux qui n'ont pas encore vu mes appareils et qui voudraient les voir fonctionner, que je serai à leur disposition mardi 10 juin, de midi à trois heures, à la gare du chemin de fer de Versailles, rive droite, salle Nemours. »

M. Wheatstone prétendait avoir démontré théoriquement et expérimentalement que l'on pouvait, par le télégraphe électrique, transmettre des dépêches à une distance de 140 lieues, et l'on disait hautement en France que les expériences exécutées en Angleterre ne prouvaient pas du tout que l'on pût faire communiquer d'un seul trait Paris avec le Havre. Pour mieux mettre en évidence ces dispositions des esprits parmi nous, citons encore les explications données à la chambre par M. Arago.

« Les télégraphes électriques semblent destinés à remplacer complétement les télégraphes actuellement en usage. Telle est l'explication naturelle de la détermination qu'a prise le ministre de l'intérieur de faire commencer les essais sur un crédit extraordinaire.

» Il fallait d'abord savoir si le courant électrique qui doit engendrer les signes télégraphiques s'affaiblirait d'une manière trop notable en parcourant de très grandes distances, telles que la distance de Paris à Lyon ; il fallait décider si, entre ces deux villes, des stations intermédiaires deviendraient indispensables. Les ingénieuses expériences déjà exécutées en Angleterre au moment où la commission commença ses travaux, les expériences faites sur le

Digitized by Google

chemin de Black-Wall, par exemple, ne tranchaient pas la question.

» Notre point de départ fut celui-ci : peut-on transmettre le courant électrique avec assez peu d'affaiblissement pour que des communications régulières s'établissent d'un seul trait, sans station intermédiaire, entre Paris et le Havre? »

M. Wheatstone ne dissimulait pas que ces doutes l'avaient offensé. Il ajoutait qu'on lui annonça assez brusquement que les brevets pris par lui en France n'avaient aucune valeur, qu'ils étaient forcément déchus, parce que le gouvernement se réserve chez nous le monopole des communications télégraphiques ; qu'on parla moins aussi de l'indemnité qui lui avait été promise ; qu'au lieu de s'adresser directement à lui, on voulut obtenir sans lui, de M. Clarke, les dessins de dispositions qui n'étaient pas dans le domaine public ; qu'on demanda que les appareils qu'il aurait à fournir produisissent 64 signaux élémentaires, ce qui, dans sa pensée, était se mettre en dehors des conditions d'une communication électrique parfaite, etc. Par tous ces motifs, il se tint malheureusement à l'écart et manifesta son mécontentement. Mais c'est le calomnier que de dire que ses prétentions allaient grandissant toujours, elles furent au contraire très modestes : le chiffre de la gratification que l'amitié éclairée de M. Arago devait lui faire obtenir dépassait toutes ses espérances. Son refus de concours, inexplicable pour la commission, a fait seul que le *sentiment de bienveillance qui animait quelques personnages compétents en faveur de M. Wheatstone dut faire place à un sentiment contraire.* Il y eut donc séparation complète : M. Wheatstone n'a pas été invité à voir les essais télégraphiques de Paris à Rouen; les membres de la commission, quoique appelés par lui, n'ont pas cru pouvoir visiter les appareils qu'il avait installés dans cette même gare où ils faisaient leurs expériences. C'était un triste spectacle, et je ne l'ai rappelé dans cette trop longue digression que pour en rendre le retour impossible, que parce qu'il a eu des effets funestes. Nos lignes de télégraphie électrique seraient bien plus avancées en France, si cette rupture n'avait pas eu lieu. La commission de Rouen, les adversaires de M. Wheatstone en conviennent eux mêmes, se serait épargné beaucoup de tâtonnements, elle aurait bien diminué ses dépenses si elle avait pu s'aider de la longue expérience et des lumières d'un savant qui avait déjà porté ses appareils à un haut degré de perfection. On ne dira pas au moins qu'elle a été mal inspirée par une vaine susceptibilité nationale, car son illustre président était heureux au contraire de pouvoir prouver dans cette mémorable circonstance que les savants anglais l'accusaient injustement de leur être moins favorable. Les membres

Digitized by Google

éminents de la commission savent d'ailleurs, mieux que moi, que nos appareils derniers de télégraphie électrique seront, bon gré, mal gré, ceux de M. Wheatstone, devenus d'autant moins parfaits, je ne crains pas de le dire, qu'ils seront plus imprudemment modifiés. Le récit qui va suivre prouvera que l'appareil d'essai mis en œuvre par la commission de Rouen se composait au fond de deux appareils élémentaires de M. Wheatstone.

Avant de l'aborder, répétons encore qu'un rapprochement est devenu tout-à-fait nécessaire; il est d'ailleurs facile. D'aussi nobles esprits, d'aussi nobles cœurs que MM. Arago et Wheatstone doivent nécessairement marcher unis dans la voie qui doit amener l'adoption définitive de la plus magnifique application de leurs découvertes scientifiques.

Arrivons enfin au résumé des travaux de la commission; je l'emprunte en partie à une personne bien informée, à M. Boquillon : les deux articles publiés par lui dans le *Moniteur industriel* m'ont aidé dans la rédaction de mon travail. Si j'ai été amené à le combattre, c'est que sous l'impression louable, mais exagérée, d'une amitié froissée, il s'est montré à l'égard de M. Wheatstone plus que sévère.

« Le 30 janvier, on a commencé à tendre les fils de cuivre destinés à former le circuit; ils ont 2 millimètres 1/2 de diamètre. Ces fils sont soutenus par environ trois mille poteaux en bois, dont trois cent vingt-quatre sont munis d'appareils de traction.

» Les autres n'ont d'autre fonction que celle de soutenir les fils, qui, ainsi que les poteaux, sont recouverts d'une couche de glu marine pour les isoler le plus possible du sol. Ils passent à chaque poteau sur des poulies en biscuit de porcelaine, où ils sont en outre abrités de la pluie par un petit toit pour empêcher l'humidité de les faire communiquer avec le sol.

» Le 1er mars, le double fil étant placé de Paris à Maisons, M. Bréguet et M. Gounelle, inspecteur de la ligne, commencèrent une série d'essais préparatoires qu'ils continuèrent successivement à des distances plus grandes, à mesure du placement du fil.

» Il est résulté de ces diverses expériences que la terre peut non seulement faire partie du circuit, mais encore que, dans cette condition, la même source électrique donne un courant beaucoup plus intense que lorsque le circuit est entièrement formé par le fil du métal.

» Dans cette dernière expérience, où la distance était de 17,000 mètres, une plaque étamée était plongée dans un puits à Paris, et une autre plaque dans la rivière à Maisons. Mais avant d'établir la pile dans le circuit, on constata qu'un faible courant le traversait. On

Digitized by Google

crut d'abord que ce courant était dû à ce qu'une portion du fil de cuivre de 3 kilomètres environ, couchée sur le sol humide au-delà de Maisons, aurait formé un couple voltaïque cuivre et étain avec la plaque du puits de Paris ; mais plusieurs expériences faites postérieurement de Paris à Mantes ont donné des déviations sensibles sans l'emploi d'aucune pile, et par la seule immersion dans des puits des deux plaques communiquant avec l'un des fils.

» Enfin, le dimanche 4 mai, des signaux purent être échangés entre les stations de Paris et de Rouen, au moyen d'un appareil formé d'un aimant temporaire en fer-à-cheval, entre les branches duquel était placée une aiguille aimantée, dont l'un des pôles était attiré par l'une ou l'autre branche, selon que l'on faisait marcher le courant dans un sens ou dans l'autre.

» M. Foy, administrateur en chef des télégraphes, désirait qu'il ne fût rien changé aux signes employés dans la télégraphie ordinaire. pour éviter de nouvelles études aux employés. M. Bréguet lui construisit, sur ses dessins, un appareil représentant un télégraphe en miniature, formé d'une branche horizontale immobile, et de deux petits bras mobiles autour des deux extrémités de cette branche, où ils peuvent prendre chacun huit positions différentes, à 45 degrés l'un de l'autre, ce qui fournit 64 signaux différents.

» M. Bréguet a disposé depuis un nouvel appareil dans lequel une petite branche additionnelle, placée au-dessus de la branche fixe, peut prendre, comme dans les télégraphes actuels, la position horizontale ou la position verticale, ce qui porte le nombre des signaux à 128. » On a de plus, dans ce nouveau mécanisme, tenu compte du courant ; le dégagement de l'échappement peut se faire à droite ou à gauche, parce que le petit morceau de fil est attiré à droite si le courant marche dans une certaine direction, à gauche si le courant circule en sens contraire.

Voici maintenant comment fonctionne l'appareil général. « Le stationnaire qui envoie la dépêche a les mains sur deux manivelles montées chacune sur un axe portant une roue métallique, dont la circonférence est partagée en seize parties, dont huit sont en ivoire et pourraient être formées d'une autre matière isolante quelconque. Des ressorts métalliques faisant partie du circuit s'appuient sur la circonférence des roues Le courant passe quand ils reposent sur une des portions métalliques des roues ; il cesse quand il est en contact avec l'ivoire. Lorsque le courant passe, il aimante à l'autre extrémité deux aimants temporaires qui attirent des contacts en fer doux, mobiles autour d'un axe, et dont le mouvement fait marcher

Digitized by Google

l'une des huit dents des rochets dont les axes portent les deux petits bras du télégraphe et leur font prendre une position à 45 degrés de la position précédente. Or, les choses sont disposées de manière que les positions des manivelles sur les roues coïncident toujours avec celles des manivelles sur les petits bras, qu'elles sont chargées de faire mouvoir à distance, de sorte que dès qu'un signe télégraphique est produit à l'une des stations par la position des manivelles, il est reproduit à l'autre station par la position des petits bras du télégraphe.

» Le dimanche 11 juin 1845, les signes conventionnels à obtenir de l'appareil à aiguilles étant bien connus des membres de la commission, la première dépêche télégraphique fut transmise. M. Bréguet était à Rouen, et les autres membres de la commission à Paris. Rouen commença la conversation suivante :

» *Rouen.* — La commission est-elle rassemblée?

» *Paris.* — L'aiguille de gauche ne marche pas.

» *Rouen.* — Les nôtres marchent bien.

» *Paris.* — Les nôtres aussi. Donnez les déviations (c'est-à-dire les déviations mesurées en degrés de l'aiguille du galvanomètre mis dans le courant qui parcourt les deux fils).

» *Rouen.* — Fil supérieur, 30 degrés ; inférieur, 30 ; métallique. 15. (Quand la déviation était de 30 degrés, le circuit était fermé par la terre ; elle n'était que de 15 quand le circuit était fermé par un second fil.)

» *Paris.* — Comment va M. Bréguet?

» *Rouen.* — Bien ; il fume son cigare.

» *Paris.* — Combien d'éléments?

» *Rouen.* — Dix-huit.

» L'appareil à signaux fut ensuite mis en expérience et permit une nouvelle conversation entre les stations.

» Le temps employé à faire ces diverses communications peut se comparer à celui qui aurait été nécessaire pour les écrire à main posée, en caractères un peu gros.

» Le dimanche 18 mai, une nouvelle expérience officielle a eu lieu avec les deux appareils précédents et un appareil imaginé par M. Dujardin, de Lille. Il se compose d'un rouage d'horlogerie faisant tourner un cylindre enveloppé d'une feuille de papier, en même temps qu'il lui communique un faible mouvement de translation dans le sens de son axe, formé d'une vis dans son écrou, disposition analogue à celle de certains cylindres des orgues de Barbarie. Un aimant temporaire agit sur un levier en fer doux, dont l'autre extrémité est armée d'une plume qui trace sur le cylindre soit des

Digitized by Google

points, soit des lignes, selon que l'opération détermine plus ou moins longtemps le contact entre le levier et l'aimant temporaire. » Cet appareil est évidemment semblable à ceux de MM. Morse et Davy. Nous indiquerons plus tard comment il en diffère.

« Dans cette séance, les signes ne purent être transmis que de Rouen à Paris, l'action trop intense de la pile de Paris ayant rendu (dit-on) permanente l'aimantation de l'aimant temporaire de Rouen. »

On le voit donc, les débuts du télégraphe électrique de Paris à Rouen furent assez heureux; on put croire un instant qu'il était définitivement établi et qu'il pourrait servir à des communications qui ne seraient pas interrompues. Il n'en fut pas tout-à-fait ainsi : les dépêches furent transmises d'abord avec la plus grande facilité, et le télégraphe fonctionna d'une manière régulière; mais bientôt de nombreux accidents survinrent. Une fois, entre autres, la communication cessa d'exister entre Paris et Rouen; il fut également impossible, pendant plus de quinze jours, et de transmettre une dépêche, et de reconnaître la cause de cette impossibilité. Après ces quinze longs jours, on put correspondre de nouveau; mais bientôt, hélas ! tous les inconvénients des fils conducteurs en cuivre se firent sentir, ils s'allongèrent démesurément, s'amincirent, cassèrent en beaucoup d'endroits; il a fallu les remplacer. La ligne télégraphique de Paris à Rouen n'est pas encore définitivement constituée : elle transmet néanmoins un grand nombre de signaux, et tout fait espérer que bientôt nous n'aurons plus rien à envier à l'Angleterre.

Le récit de ces accidents a inspiré à M. Burguière les réflexions suivantes, que nous avons déjà exprimées. « Si l'on avait pu avoir recours aux lumières de M. Wheatstone, on se serait épargné des essais inutiles et des dépenses sans fruit. Ainsi, peut-être, on eût préféré des fils de fer, beaucoup moins chers, et ayant, outre l'avantage de ne point tenter la cupidité, celui d'échapper à l'allongation qui résulte du poids et des propriétés du métal. Dans les appareils pour tendre les fils, on aurait dû éviter de faire porter la tension sur des pièces de bois, et on aurait trouvé qu'une pièce de fer avait à la fois l'avantage de transmettre le courant et d'offrir plus de résistance. Au lieu de mettre au-dessus de chaque poulie un petit toit latéral abritant seulement cette poulie, on aurait adopté des pièces protégeant une partie du poteau dans toute sa circonférence; car il ne s'agit pas seulement ici d'augmenter la faculté isolante de la pièce de porcelaine, mais de conserver une partie annulaire du poteau toujours à l'état sec et d'empêcher l'électricité de se perdre par cette voie. Il est à craindre, en effet, que dans des temps très

Digitized by Google

pluvieux, les toits protecteurs des poulies du télégraphe de Paris à Rouen ne soient pas suffisants pour empêcher cette perte. Quant à l'idée qu'a adoptée avec empressement la commission de former avec les aiguilles des signaux rappelant ceux qui sont en usage dans les télégraphes ordinaires, les avantages m'en paraissent assez illusoires. En effet, si l'on peut ainsi utiliser le personnel actuel du service avec son éducation spéciale, n'est-il pas préférable d'adopter un système qui n'exigerait aucune préparation, et qui permettrait le même secret pour les dépêches, si, au lieu de lettres, on adaptait au cadran des chiffres ou des signes d'une valeur convenue et qu'on changerait à volonté? »

Je partage l'opinion de M. Burguière. Après avoir vu fonctionner le télégraphe de Paris à Rouen dans des circonstances favorables, j'ai acquis la conviction qu'au lieu de faire les signes télégraphiques au moyen de deux appareils à aiguilles sur place, et par le mouvement de deux manivelles, il valait mille fois mieux dessiner tout simplement ces mêmes signes ou des signes analogues sur un appareil à cadran semblable à celui de M Wheastone, et les montrer ainsi tout dessinés à l'autre station. J'avais dit qu'on ne modifierait un peu profondément le télégraphe du savant professeur de Kings-Collège qu'en le compliquant, c'est ce qui est arrivé sur la ligne de Rouen. Si l'on s'était arrêté à la simplicité du procédé anglais, et qu'on se fût servi immédiatement d'un appareil électro-magnétique beaucoup moins embarrassant, beaucoup plus facile à manier, beaucoup plus sûr que la pile, le stationnaire aurait vu dessiné très nettement sur la roue horizontale le signe télégraphique qu'il s'agit de transmettre, et l'aurait amené avec le doigt devant une pointe fixe par un simple mouvement de rotation; ce signe aurait été reproduit immédiatement et sur le cadran indicateur de Paris, et sur le cadran indicateur de Rouen; il aurait été transmis et lu. Voilà toute la manœuvre; un enfant, un ouvrier borné, peuvent la répéter. Dans le système adopté, le stationnaire, très exercé, doit avoir le signe télégraphique sous les yeux et dans sa pensée; il doit, à l'aide de deux manivelles et en imprimant à ses deux bras des mouvements différents, le dessiner sur les deux roues; ce signe ne peut être reproduit à Rouen que par l'intermédiaire d'un double appareil de M. Wheastone, etc.; il y a donc, en dépit du vieil adage : *non sunt multiplicanda entia absque necessitate*, une multiplication de mouments, d'appareils, de mobiles, de moteurs, etc., etc., et cela, je ne crains pas de l'affirmer, sans aucun avantage réel. Remarquons même encore un inconvénient assez grave qui n'a pas été signalé. Dans le mécanisme si ingénieux de M. Wheatstone, le stationnaire ne voit

Digitized by Google

pas seulement devant l'index la lettre ou le signe qu'il veut transmettre, il le voit de plus après qu'il a pénétré dans le courant, si je puis m'exprimer ainsi ; il le voit reproduit par le courant sur le cadran de sa station ; le télégraphe fonctionne devant lui et pour lui, avant de fonctionner à la station extrême. Cette disposition ingénieuse lui sert de contrôle et lui donne une sécurité de plus qui n'existe pas dans le mécanisme de Rouen ; car là les aiguilles de la station d'où part la dépêche ne répètent pas le signe transmis. Je crois donc que pour une multitude de raisons graves, l'administration des télégraphes devra renoncer au mode de reproduction mécanique des signes qu'elle a momentanément adopté. Le système à cadrans avec la transmission des signes télégraphiques dessinés d'avance sera d'autant plus avantageux : 1° que sur un même cadran on pourra, dans deux ou trois segments concentriques, disposer deux ou trois séries de signes, comme M. Froment l'a fait dans plusieurs des instruments qu'il a livrés ; 2° qu'on pourra même, avec de très grands avantages, employer un plus ou moins grand nombre de cadrans portant tous des signes différents ; quatre-vingt-douze cadrans, si l'on veut, pour correspondre aux quatre-vingt-douze pages du vocabulaire phrasique de l'administration. Remplacer un cadran par un autre sera une opération de quelques secondes ; on indiquera par un signal particulier celui des cadrans que l'on doit installer actuellement, celui des segments dont les signes vont être transmis, et doivent, par conséquent, être remarqués et notés aux diverses stations.

Je crois encore que les membres de la commission auraient prévenu la rupture de leur fil et les inconvénients qui en ont été la suite, s'ils avaient pu étudier avec soin une note technique insérée dans le *Mechanich Magazine*, livraison de juin 1843, p. 467. L'associé de M. Wheastone, M. Cooke, y donne en quelques pages tous les renseignements désirables sur la bonne installation des poteaux, sur le mode de tension des fils, etc., etc. Je citerai aussi comme renseignement à consulter la lettre suivante, écrite à M. Arago par l'un des physiciens qui ont le plus approfondi en France toutes les questions relatives à l'électricité : à ce titre, il aurait pu faire partie de la commission.

« La grande et belle expérience que vous allez faire sur la conductibilité des fils, dans l'établissement d'un télégraphe électrique, écrivait M. Pelletier à M. Arago, le 6 janvier 1845, m'engage à vous communiquer deux faits qui s'y rattachent incidemment. Il y a douze ans environ, voulant suivre l'arrangement des molécules du plomb dans la réduction de l'acétate, j'employai, comme on le fait pour

Digitized by Google

produire l'arbre de saturne, une lame de zinc placée au milieu d'une large spire d'un gros fil de Rosette ; les deux extrémités supérieures émergées étaient soudées pour former un couple voltaïque. Au bout de six mois ou d'un an, la portion immergée du fil de cuivre, très ductile dans son origine, devint tellement aigre, qu'elle se rompait sous le plus petit effort ; la portion émergée gardait à peu près sa ductilité, du moins elle la conservait plus longtemps. La cassure du fil aigre offrait un grenu terne, qui indiquait non seulement un nouvel arrangement moléculaire, mais encore une cémentation avec l'un des éléments de la dissolution.

» Le même fait de la fragilité des fils se représenta plus tard, lorsque j'eus établi des appareils électriques fixes au-dessus de ma maison. Ces appareils sont formés, comme l'on sait, de longs fils de Rosette tendus horizontalement, destinés à soutirer l'électricité de l'atmosphère pour la conduire au centre commun, après avoir traversé un rhéomètre. Ces fils ainsi exposés aux alternatives des saisons, des agents atmosphériques et aux courants électriques, devinrent aigres, cassants, et je fus obligé de les renouveler au bout de deux ans Des fils argentés n'eurent pas plus de durée, des fils de laiton cassèrent au bout de six mois. Les conducteurs abrités gardent bien plus longtemps leur ductilité, et finissent cependant par s'aigrir sous l'influence d'un courant permanent.

» Je me propose au premier beau temps, et aussitôt que ma santé me permettra de parcourir les sommités du bâtiment, de renouveler tous les fils de mes appareils, en leur substituant des fils de Rosette bien recuits et parfaitement étamés. J'espère que la couche d'étain sera moins perméable aux agents extérieurs que le cuivre et l'argent, et que la cémentation qui vient en aide à l'effet de l'électricité sera atténuée en grande partie.

» J'ajouterai en terminant qu'il est inutile de tendre fortement les fils ; car une tension trop grande s'oppose à leur rétraction lorsqu'ils ont été dilatés, et la courbure du fil augmente à chaque alternative de température, jusqu'à ce qu'il y ait équilibre entre les deux forces antagonistes, l'extension mécanique d'une part, et la contraction de l'autre. »

Je doute que M. Pelletier ait raison dans cette dernière recommandation ; on verra du reste dans la partie descriptive, quand je reproduirai la note de M. Cooke, ce que doit être la tension.

Il ne sera pas inutile de rappeler aussi le beau travail de Félix Savart sur l'allongement prodigieux des fils de cuivre sous l'influence des vibrations longitudinales. Il n'est pas douteux, que dans des conditions de tension imparfaite, les fils conducteurs des lignes

Digitized by Google

télégraphiques doivent vibrer beaucoup ; c'est assez de ces vibrations, unies à leur poids, pour déterminer l'allongement et l'amincissement qui amènent nécessairement la rupture.

Je ne saurais enfin mieux terminer cette première section qu'en reproduisant la note suivante, dans laquelle un savant académicien, M. Lamé, résume les principes du télégraphe électrique de M. Wheatstone.

« Le télégraphe électrique utilise les découvertes les plus récentes de la science de l'électricité. Les savants qui connaissent ces découvertes admirent la simplicité et la perfection de l'appareil imaginé par M. Wheatstone ; ils ne s'étonnent pas que deux personnes placées à six lieues l'une de l'autre puissent s'interroger et se répondre avec presque autant de promptitude que si elles habitaient le même appartement ; ils savent qu'il en serait encore ainsi, lors même que la distance qui sépare les deux interlocuteurs serait dix fois, cent fois, mille fois plus grande. Mais les personnes étrangères à la science éprouvent le plus vif désir de comprendre les causes d'un résultat aussi extraordinaire ; car, dans notre siècle, on ressent une sorte de malaise à voir se renouveler une énigme dont on ignore le mot.

» Il faut d'abord savoir ce que l'on entend par *un courant électrique*. Imaginez un fil métallique, de cuivre, par exemple, d'une longueur quelconque, contourné comme on voudra, et qui revienne sur lui-même. Une aiguille aimantée, celle d'une boussole, est suspendue librement au-dessus d'une partie du fil qu'on a redressée parallèlement à cette aiguille, c'est-à-dire du sud au nord. Quand l'aiguille s'écarte brusquement de sa position, en se dirigeant vers l'est ou vers l'ouest, sans qu'on l'ait touchée, sans qu'on en ait approché un aimant ou un morceau de fer, on dit qu'*un courant électrique parcourt le fil métallique*. Suivant que l'aiguille est déviée vers l'est ou vers l'ouest, le courant a lieu dans un sens ou dans le sens opposé.

» Par exemple, ces déviations de l'aiguille aimantée ont lieu lorsque les deux bouts du fil métallique sont respectivement en contact avec les deux extrémités ou avec les deux pôles d'une pile de Volta, source permanente d'électricité ; le courant électrique prend alors le nom de courant voltaïque ; le fil et la pile forment un circuit fermé, conducteur de l'électricité dans toutes ses parties, et qu'on appelle circuit voltaïque. Quand on coupe le fil ou quand une de ses extrémités cesse de toucher la pile, le circuit est ouvert ; l'aiguille revient à sa position naturelle ; la déviation s'annule, et le courant électrique n'a plus lieu.

Digitized by Google

» Autre exemple : si, en temps d'orage, l'un des bouts du fil métallique est à la pointe supérieure d'un cerf-volant très élevé, et que l'autre soit plongé dans un puits, l'aiguille suspendue est déviée tantôt dans un sens, tantôt dans un autre. Il y alors dans le fil des courants dus à l'électricité qui s'écoule des nuages vers le sol, ou qui s'élève du sol vers les nuages.

» Les courants électriques qui parcourent un fil métallique, et qui font dévier l'aiguille de boussole, ont aussi la propriété d'aimanter du fer doux ou pur. Il faut, pour cela, que le fil métallique, recouvert d'un ruban de soie, soit contourné plusieurs centaines, et même plusieurs milliers de fois, autour du morceau de fer. Alors, tant qu'un courant électrique, voltaïque ou autre parcourt le fil, le morceau de fer doux se comporte comme un aimant puissant : il attire du fer et le retient au contact. Mais aussitôt que le courant cesse dans le fil, le morceau de fer entouré perd son magnétisme, et ne peut plus rien retenir.

» Il suffit de connaître cette propriété pour comprendre l'appareil indicateur du télégraphe électrique. Un morceau de fer doux, en fer-à-cheval ou ayant la forme de la lettre grecque Π, est entouré par le fil métallique qui va d'une section à l'autre. Ce morceau de fer est disposé horizontalement; à une petite distance, en face de ses deux bouts, se trouve une petite lame de fer, qui est attirée quand un courant électrique, venant par le fil, aimante momentanément le fer entouré ; un ressort léger éloigne cette lame aussitôt que le courant cesse. A chaque alternative de ce double mouvement, une roue verticale à échappement, semblable à celle d'une horloge ordinaire, se meut d'un vingt-quatrième ou d'un trentième de tour. Un cadran en carton tourne en même temps que cette roue ; les vingt-quatre lettres de l'alphabet, et d'autres signes de convention, sont disposés circulairement vers la circonférence du cadran mobile. En établissant et en interrompant successivement un certain nombre de fois le courant électrique, on peut amener celui des vingt-quatre ou trente caractères que l'on veut, au point culminant du cadran, seul point que l'on observe. Là, on peut lire une demande, ou une réponse, en aussi peu de temps que l'on mettrait à épeler les mots qui la composent.

» Il nous reste à décrire le moyen que M. Wheatstone emploie pour établir et interrompre le courant autant de fois qu'il est nécessaire. La source d'électricité qu'il a choisie, et qui paraît la plus favorable, a été découverte par M. Faraday. Pour comprendre en quoi elle consiste, revenons au fil et à l'aiguille de boussole qui nous ont servi à définir le courant électrique. Imaginons que le fil métallique

Digitized by Google

entoure un grand nombre de fois un morceau de fer doux. Lorsqu'on approche rapidement de ce morceau de fer un aimant puissant, on observe une déviation de l'aiguille qui indique dans le fil un courant électrique ayant un certain sens. Lorsqu'on éloigne rapidement l'aimant, la déviation a lieu de l'autre côté, et indique dans le fil un courant contraire au premier. Si l'aimant est en repos, la déviation est nulle, il n'y a pas de courant.

» Voici maintenant la description de l'appareil producteur dans le télégraphe électrique de M. Wheatstone. Un aimant artificiel ou d'acier trempé, en fer-à-cheval, est disposé horizontalement d'une manière fixe. Au milieu de l'intervalle qui sépare ses deux pôles se trouve un axe vertical de rotation. Un morceau de fer doux, en forme de Π, vertical, est mobile autour de cet axe, qui occupe le milieu de l'intervalle des deux branches parallèles. Le fil métallique entoure plusieurs milliers de fois ces branches mobiles. Dans une révolution complète, chaque bout de fer doux s'approche et s'éloigne successivement de chacun des pôles de l'aimant fixe.

» Or, d'après le fait énoncé ci-dessus, le fil métallique doit être le siége d'un courant électrique qui change de sens à chaque demi-révolution. Mais, par une disposition particulière, le fil télégraphique, ou celui qui va d'une station à l'autre, n'admet le courant que lorsqu'il a lieu dans l'une des deux directions ; le courant inverse est reçu par un fil plus court, qui complète momentanément le circuit, à l'endroit même de l'appareil producteur. De là résulte qu'à chaque révolution complète du fer doux, le fil télégraphique transmet un courant électrique, lors de la première demi-révolution, lequel courant s'interrompt pendant la seconde.

» L'opérateur a devant lui une roue horizontale qu'il fait mouvoir à la main, et qui tourne autour d'un second axe, lié au premier par deux roues d'engrenage. Cet engrenage est tel qu'à chaque révolution de la roue à la main, le fer doux fait 30 tours, si 30 est le nombre des caractères dont on fait usage. Ces caractères sont distribués sur la circonférence de la roue, et il suffit d'amener par sa rotation celui des caractères que l'on veut, à une position fixe et déterminée, pour que le cadran mobile le répète à l'autre extrémité de la ligne, comme à toute station intermédiaire où le fil télégraphique entourera un appareil indicateur. On comprendra facilement qu'un seul fil, revenant sur lui-même, puisse entourer autant d'appareils indicateurs et producteurs que l'on voudra, et transmettre ainsi, dans tout le circuit ou sur toute la ligne, une dépêche partant d'une station quelconque.

Digitized by Google

» Nous ne dirons rien ici du mécanisme par lequel le courant électrique met en mouvement un timbre d'horlogerie, pour avertir le stationnaire qu'une dépêche va se transmettre, ni de l'appareil qui peut imprimer la dépêche. Tous ces accessoires n'ont rien qui doive surprendre, quand on comprend les principes que nous venons d'énoncer.

» Il avait paru nécessaire que le fil télégraphique formât un circuit fermé, c'est-à-dire qu'il parcourût deux fois toute la ligne. Mais l'expérience a prouvé qu'il y a même de l'avantage, sous le rapport de l'intensité des courants transmis, à n'employer qu'un seul fil, si l'on a soin de faire aboutir ses deux extrémités dans les couches humides du sol. La terre agit-elle ici comme conductrice de l'électricité, en complétant le circuit entre les deux stations extrêmes? ou bien le courant s'établit-il dans un fil unique ayant deux bouts libres, comme dans le fil métallique allant des nuages au sol, en temps d'orage? C'est ce qu'il paraît difficile de décider aujourd'hui. Qu'importe d'ailleurs? le fait existe.

» La longueur de la ligne télégraphique est à peu près indifférente. Si le fil s'étendait du Havre à Marseille, il n'y aurait d'autre modification à apporter que d'accroître la puissance de l'aimant fixe, la grosseur du fil et le nombre des spires autour du fer doux. Quant à la rapidité de transmission des dépêches, elle serait la même. Car, le fil développé eût-il 100,000 lieues de longueur, le courant électrique produit à l'une de ses extrémités ne mettrait pas une seconde de temps pour se propager jusqu'à l'autre. Cette vitesse, qui surpasse celle de la lumière dans l'espace, et qui paraissait inappréciable, a néanmoins été mesurée, il y a quelques années, par M. Wheatstone lui-même, à l'aide de moyens nouveaux qui ont fait connaître à l'Europe savante le haut mérite de l'inventeur. »

SECONDE SECTION.

Histoire des applications diverses du principe de la télégraphie électrique.

Quand une force motrice a été comme créée, quand l'on est parvenu à transmettre son action à des distances quelconques avec une incommensurable vitesse, quand on a pu à volonté la multiplier en quelque sorte indéfiniment, quand surtout on est arrivé à l'aide de cette force transmise instantanément et indéfiniment multipliée,

Digitized by Google

à mettre en jeu toutes les autres forces de la nature, on s'est ouvert un champ immense, et l'imagination la plus active serait impuissante à prévoir et à énumérer les résultats merveilleux et inattendus que l'on réalisera successivement. Volta découvrit en 1800 le courant voltaïque; Œsterd mit en évidence sa force motrice; M. Arago transforma cette force et lui créa comme des issues nouvelles en constatant ses effets d'aimantation; on s'assura presque dès l'origine qu'elle se transmettait dans un instant indivisible à travers des circuits démesurément longs; M. Wheatstone détermina la limite inférieure de la vitesse avec laquelle cette force se propage; il avait démontré en 1843 qu'elle pouvait produire presque instantanément des effets sensibles à la distance de cent lieues; plus tard, le célèbre professeur de King's-College montra comment, à l'aide de cette action exercée à une distance quelconque, on pouvait mettre en jeu l'élasticité des ressorts, la pesanteur, etc., etc. Un avenir prochain verra sortir de cette mine profonde des trésors qu'il n'était pas possible de soupçonner. Les applications dont je vais tracer l'histoire dépassent déjà toutes les prévisions et toutes les espérances humaines.

PREMIÈRE APPLICATION.

Système de sonnettes mises en mouvement par le courant électrique.

Dès que M. Wheatstone fut parvenu, par les procédés si ingénieux que nous avons décrits, à faire sonner le réveil ou l'Alarme des télégraphes électriques, il lui fut comme impossible de ne pas remarquer que ce mécanisme pourra s'utiliser partout où l'on voudra faire sonner à distance une cloche ou timbre quelconque. Ainsi prit naissance le système de sonnettes dont nous parlons. Il fut immédiatement employé dans la chambre des communes et dans plusieurs autres établissements publics; l'appareil moteur est tantôt une pile, tantôt une machine électro-magnétique. Cette application curieuse prendra tous les jours une nouvelle extension. On pourra faire sonner ainsi des cloches même très pesantes, sans qu'on ait besoin d'imprimer un mouvement aux fils de communication, sans qu'on ait recours à aucun levier. Il suffira de fils très fins qu'on ne sera pas forcé de tendre, qui pourront suivre tous les détours imaginables, et d'une petite pile à effet constant, dont l'action se continuera pendant un mois entier sans qu'on ait besoin d'y faire la plus petite attention. Cette pile produira la

Digitized by Google

force nécessaire pour mettre en mouvement avec une très grande économie toutes les sonnettes du plus vaste établissement.

DEUXIÈME APPLICATION.

Impression des dépêches télégraphiques.

Nous avons déjà dit comment on arrivait à imprimer les dépêches en substituant au disque de papier, sur la circonférence duquel sont indiquées les lettres, un disque mince de cuivre ou de bronze, divisé du centre à la circonférence, de manière à former vingt-quatre ressorts sur les extrémités desquels on place des caractères ou poinçons. Un mécanisme additionnel, dont la détente est mise en mouvement par un électro-aimant, force un marteau à appuyer le poinçon contre un cylindre autour duquel s'enroulent plusieurs couches alternatives de papier blanc et de ce papier noir à calquer dont on se sert dans divers appareils. On obtient ainsi, sans créer aucune résistance nouvelle à la roue motrice, un certain nombre de copies imprimées du message transmis. Nous avons ajouté que M. Bain avait modifié ce mécanisme en se servant pour l'impression du cadran indicateur lui-même, qu'il presse à propos contre le papier.

TROISIÈME APPLICATION.

Horloge électro-télégraphique.

Le *Bulletin de l'Académie de Bruxelles* constate qu'avant le 8 octobre 1840, M. Wheatstone avait appliqué le principe de son télégraphe à faire lire simultanément en un grand nombre de lieux l'heure donnée par une seule horloge régulatrice, ou, en d'autres termes, qu'il était parvenu à télégraphier l'heure comme il avait télégraphié l'expression d'une pensée ou volonté quelconque. Dans ce but, la roue destinée à former ou à rompre le circuit, au lieu d'être mise en mouvement au moyen du doigt, comme dans le télégraphe, est rendue extrêmement légère, et reçoit sa rotation de l'arbre d'un mouvement d'horlogerie; les aiguilles du cadran fixe placé à distance sont mues par le même moyen absolument que le cadran du télégraphe. Les fils qui établissent la communication entre l'horloge et l'instrument qui doit répéter ou réciproquer son mouvement peuvent, comme dans le télégraphe électrique, avoir toute longueur voulue, et l'on pourra comprendre

Digitized by Google

dans le circuit un nombre quelconque de ces instruments répétiteurs. L'horloge électrique de M. Wheatstone fut présentée et décrite pour la première fois dans une des réunions de la Société royale, au mois de novembre 1840 ; ce moyen d'indiquer en divers lieux l'heure donnée par un régulateur unique a été constamment mis en usage depuis ce jour dans King's-College et ailleurs. La notice suivante, publiée alors dans les *Procedings* de la Société royale, donnera une idée assez complète de cet ingénieux mécanisme.

« Le but de l'appareil qui est l'objet de la communication de M. Wheatstone est de rendre une seule horloge propre à indiquer exactement en différents lieux, aussi distants l'un de l'autre qu'on voudra, l'heure donnée par une seule et même horloge. Dans un observatoire, par exemple, chaque cabinet pourra être fourni d'un appareil très simple dont la construction sera très peu sujette au dérangement, d'un prix très modique, et qui indiquera l'heure, la minute, la seconde ; battra même chaque seconde aussi régulièrement que la pendule astronomique avec laquelle on l'aura mise en relation. On parera de cette manière à la nécessité d'avoir plusieurs horloges de grand prix ; l'on diminuera les embarras qu'entraînent les allées et les venues, on échappera à l'obligation de régler séparément chaque horloge sur le mouvement des astres.

» De cette manière encore, dans de grands établissements ou dans des administrations très nombreuses, il suffira d'une bonne horloge pour indiquer l'heure dans toutes les parties de l'édifice où cette indication pourra être nécessaire, avec une exactitude qu'il serait impossible d'obtenir d'horloges distinctes, et avec une dépense beaucoup moins considérable. On pourrait énumérer un grand nombre d'autres circonstances où cette invention réalisera de très grands avantages.

» Dans les horloges ou cadrans électriques mis en mouvement dans les divers appartements de la Société royale, on n'employait aucune des pièces dont on se sert ordinairement pour maintenir et régler la force motrice ; chaque appareil se composait d'un simple cadran, ayant ses aiguilles des heures, des minutes et des secondes, et de l'ensemble des roues par lequel, dans les horloges, l'aiguille des secondes communique le mouvement aux aiguilles des minutes et des heures. Un petit électro-aimant est destiné à rendre libre une roue d'une construction toute spéciale placée sur l'arbre de l'aiguille à secondes, de telle sorte qu'à chaque fois que le magnétisme temporaire est produit ou détruit, cette roue, et par conséquent l'aiguille des secondes, avance de la soixantième partie d'une

Digitized by Google

révolution entière. Il est évident dès lors que si l'on parvient à établir et à rompre un courant électrique, dans des circonstances telles que l'ensemble d'une reprise et d'une cessation dure une seconde, ce qu'il est facile d'obtenir au moyen du régulateur ou horloge parfaite dont on veut multiloquer les indications, l'appareil-cadran ci-dessus décrit, quoique dépourvu de toute force régulatrice constante, remplira pleinement à son tour l'office de régulateur parfait.

» On peut obtenir de la manière suivante que la marche des deux aiguilles à seconde sur le régulateur et les divers cadrans reproducteurs soit tout-à-fait simultanée. Sur l'axe qui porte la roue d'échappement de la première horloge on fixe un petit disque de bronze dont la circonférence a été préalablement divisée en soixante parties ; on entaille alternativement de deux en deux les divisions, et l'on remplit les vides de morceaux d'ivoire ou de bois isolant. Un ressort en cuivre extrêmement léger, vissé à un morceau de bois dur ou d'ivoire, et qui, par là même, n'est nullement en contact avec les parties métalliques de l'horloge, repose par son extrémité libre sur la circonférence du disque ; un fil de cuivre attaché à l'extrémité fixe du ressort se lie à l'un des bouts du fil d'un électro-aimant, tandis qu'un second fil attaché au timbre de l'horloge vient rejoindre le second bout du même fil. Une pile à effet constant, de dimensions très petites, s'interpose dans une portion quelconque du circuit. Dans cet arrangement, le courant est périodiquement fermé et rompu aussi souvent que le ressort a reposé d'abord sur une division en métal, puis sur une division en bois, c'est-à-dire à chaque seconde. Le courant peut d'ailleurs être transmis à travers une longueur quelconque, et un nombre quelconque aussi d'appareils électro-magnétiques peut de cette manière répéter toutes les indications de l'horloge régulatrice. Il faut seulement faire observer que la force de la pile, que le rapport de la résistance du fil de l'électro-aimant et celles des fils du reste du circuit, doivent varier dans chaque cas particulier, si l'on veut obtenir le maximum d'effet avec la plus petite dépense de force. »

En terminant son mémoire, M. Wheatstone indiquait plusieurs moyens différents par lesquels on pouvait atteindre le même but. Un de ces moyens consistait à employer les courants d'induction découverts par M. Faraday, au lieu du courant direct d'une pile voltaïque.

Il décrivait aussi une modification du moteur sympathique étudiée de telle sorte que le mouvement pouvait se propager à de

Digitized by Google

grandes distances avec un bien plus faible courant que dans la première disposition.

Je viens d'attribuer à M. Wheatstone la réalisation des horloges électriques et de l'impression des dépêches télégraphiques : or, cette double gloire lui a été vivement contestée par M. Bain, et il m'est impossible de ne pas entrer à ce sujet dans quelques détails. Je le ferai avec pleine connaissance de cause ; car d'une part j'ai eu la patience de lire jusqu'au bout le manifeste du chevalier Finlaison, défenseur acharné des prétendus droits de M. Bain ; de l'autre j'ai entendu M. Wheatstone. Ceux qui ont donné tant de retentissement en France aux réclamations et aux plaintes amères de M. Bain n'ont été ni aussi heureux ni aussi courageux que moi. S'ils avaient lu au moins le titre du factum qu'ils avaient entre les mains, ils n'auraient pas laissé soupçonner que M. Bain prétendait disputer à M. Wheatstone la découverte de la télégraphie électrique. Cet ouvrier intelligent n'a pas poussé si loin l'orgueil ; il se pose seulement comme le premier inventeur du télégraphe électro-magnétique, imprimant les dépêches, et de l'horloge électro-magnétique. Voici, en effet, le titre de son apologie : *An account of some remarkable applications* of the electric fluid to the useful arts, by *M. Alexander Bain, with a vindication of his* CLAIM *to be the first inventor of the electro-magnetic* PRINTING telegraph, *and also of the electro-magnetic clock*. Examinons ses titres à cette double découverte. Il fait d'abord affirmer par un horloger de ses amis, M. Dowall, que lui, Bain au printemps de 1838, avait annoncé qu'il voulait appliquer l'électricité au mouvement des horloges ; qu'il pouvait faire marcher simultanément un nombre quelconque d'horloges par des procédés électriques, sans ressorts ou balancier. Admettons cette déclaration d'ami, quoique, d'après les règles posées par M. Arago, on dût la repousser ; elle ne prouve en aucune manière que M. Bain, avait conçu alors l'idée de l'appareil que nous avons désigné sous le nom d'horloge électro-magnétique, puisque cet appareil suppose essentiellement une première horloge régulatrice avec *ressorts et balancier*. Viennent ensuite deux autres amis, MM. Pinkerton et Laurie, qui déclarent, avec M. Dowall en 1842, qu'en juin et juillet 1840, ils avaient vu chez M. Bain des modèles de l'horloge électro-magnétique et du télégraphe imprimant les dépêches. Ce sont encore de simples témoignages d'amis ; n'importe. M. Bain enfin, mis en rapport avec M. Wheatstone par l'intermédiaire de M. Baddelay, affirme sur tous les tons et sous toutes les formes qu'avant sa première visite, qui eut lieu le 1er août 1840,

Digitized by Google

le célèbre professeur de King's-College n'avait pas eu la moindre idée du procédé d'impression des dépêches et de l'horloge électro-magnétique; que du moins il n'avait à cet égard aucun plan arrêté, tandis que lui, Bain, avait dès lors construit deux modèles, qu'il apporta à une seconde entrevue, et qu'il refit ensuite avec l'argent de M. Wheatstone. Ajoutez à cela l'accusation mille fois répétée de non paiement d'un salaire convenu, et vous aurez dans l'ensemble et les détails les moyens d'attaque de M. Bain.

Ecoutons maintenant la défense. Le 18 juin 1842, M. Wheatstone écrivait la lettre suivante au rédacteur de *Litterary Gazette*, en réponse à une lettre de M. Bain, publiée le samedi précédent.

« M. Bain affirme que je ne suis pas l'inventeur de l'horloge électro-magnétique, et que je n'oserais pas réclamer publiquement cette découverte comme mienne. Je réponds que, le 26 novembre 1840, j'ai lu à la Société royale un mémoire descriptif de cette invention, que je m'attribuais; j'ajoute que le soir de ce même jour l'horloge électro-télégraphique fut mise en mouvement dans la bibliothèque de la Société, et y fonctionna pendant plusieurs jours. Un extrait de mon mémoire fut publié dans les *Proceedings* de la Société royale, et le *Litterary Gazette* du 28 annonça l'objet de ma communication. Ce fut seulement au mois de janvier suivant qu'une note à moi adressée par M. Barwise, qui se posait comme inventeur, m'apprit que mes droits à cette découverte étaient contestés. Quelque temps après, cette même invention fut signalée dans les placards et les annonces de l'*Exhibition polytechnique* comme appartenant en commun à MM. Barwise et Bain. Ce dernier est un ouvrier mécanicien que j'avais employé dans les mois d'août à décembre 1840.

» On ne peut donc révoquer en doute que le premier j'ai fait connaître cette découverte en la réclamant pour moi, et il me reste à réfuter l'assertion par laquelle M. Bain prétend qu'il m'aurait communiqué cette invention au commencement d'août 1840, c'est-à-dire trois mois avant ma publication. Je réponds d'abord qu'il n'y aucune différence essentielle entre l'horloge télégraphique et l'une des formes que je donnai au télégraphe électro-magnétique inventé par moi, et décrit dans la spécification de la patente qui nous a été garantie à M. Cooke et à moi en janvier 1840. L'horloge est une des nombreuses et évidentes applications que l'on peut faire du principe de la télégraphie électrique; il suffisait pour qu'elle fût réalisée que l'idée de télégraphier le temps s'offrît à l'esprit, et cette idée pouvait se présenter facilement à toute intelligence

Digitized by Google

ordinaire. Quand on télégraphie des dépêches, la roue qui doit fermer et rompre le courant, le rhéotome, est mise en mouvement par le doigt de l'opérateur. Quand il s'agit de télégraphier le temps, le rhéotome tourne avec l'arbre de l'horloge : voilà toute la différence. La question est donc ramenée à ces termes : l'idée d'appliquer mon invention première à télégraphier le temps est-elle pour moi une idée propre, ou m'a-t-elle été suggérée par M. Bain ? J'ai simplement à prouver que longtemps avant la date mise en avant par M. Bain, j'avais expliqué à plusieurs de mes amis de quelle manière je prétendais modifier mon télégraphe, pour arriver à montrer l'heure d'une première horloge donnée, dans toutes les chambres d'une maison ou dans toutes les maisons d'une ville. Parmi ces amis, ceux dont les noms suivent ont pu, en raison de circonstances diverses, me rappeler exactement la date des communications que je leur fis : ce sont MM. Airy, astronome royal; le docteur W.-A. Miller, de King's-College; John Martin, artiste éminent, et F.-O. Ward, ancien élève de King's-College. Je puis ajouter aux déclarations précises de ces hommes honorables, la réponse faite immédiatement à la lettre que M. Bain fit insérer dans le *Inventors advocate*, par M. Lamb, un des ouvriers mécaniciens employés par moi, réponse dans laquelle M. Lamb prouvait invinciblement que l'assertion émise par M. Bain était inadmissible, puisque lui, M. Lamb, avait reçu de moi, dès le 6 janvier 1840, c'est-à-dire plus de six mois avant la prétendue communication de M. Bain, toutes les instructions nécessaires à la confection de l'horloge télégraphique.

» Je répète hardiment que je ne suis redevable en aucune manière à M. Bain ni de l'idée ni des détails de l'horloge télégraphique, et vous conviendrez, je l'espère, monsieur le rédacteur, que j'ai pleinement réfuté ses assertions.

» J'arrive maintenant au télégraphe imprimant les dépêches. Cette découverte consiste principalement dans une addition au télégraphe magnéto-électrique inventé par moi et décrit dans la spécification de janvier 1840. Alors même que cette addition serait supprimée, le télégraphe restera ce qu'il était, dans tous ses détails, sans la plus légère altération.

» Il ne peut, par conséquent, être question ici de l'invention du télégraphe-impresseur comme d'un tout, mais seulement comme d'un mécanisme additionnel au moyen duquel les lettres sont imprimées au lieu d'être simplement montrées. Voici par quel moyen je produis cet effet : je substitue au disque en papier du télégraphe, sur

Digitized by Google

le limbe duquel les lettres sont dessinées, un disque mince en bronze, entaillé de la circonférence au centre, de manière à former vingt-quatre bandes ou ressorts sur les extrémités desquels les types ou caractères sont fixés; cette roue à caractères arrive à la position voulue de la même manière absolument que le disque en papier. L'appareil additionnel consiste dans un mécanisme mis en mouvement par un électro-aimant, et qui force un marteau à appuyer le caractère placé devant lui contre un cylindre recouvert de plusieurs couches alternatives de papier blanc et noir à calquer; par ce moyen, et sans créer aucune résistance à la roue qui porte les types, j'obtiens plusieurs copies imprimées du message transmis. Ce plan a été originairement conçu et exécuté par moi seul. Il est vrai qu'après que j'eus imaginé cette disposition, M. Bain me proposa un autre moyen peut être aussi efficace de produire le même effet; c'était de faire mouvoir la roue à caractères d'une seule pièce vers le cylindre autour duquel s'enroule le papier qui reçoit l'impression; M. Bain faisait usage de plus, pour charger les caractères de noir, d'un appareil à encrer semblable à ceux que l'on a adoptés dans les machines à imprimer ordinaires. Quoique j'eusse acheté de lui le modèle informe par lequel il expliquait son mécanisme, et que je l'eusse employé ensuite pour voir jusqu'à quel point il pourrait s'appliquer pratiquement à mon télégraphe, je n'ai jamais fait, je n'ai nullement l'intention de faire usage des idées qu'il me suggéra, et je n'ai pas élevé à cet égard la plus petite réclamation. La vérité de ces assertions ne peut pas être révoquée en doute, puisque j'ai eu en ma possession un écrit signé par M. Bain et daté du 18 août 1840, dans lequel il reconnait avoir reçu le prix d'un modèle *de la modification par lui proposée à l'appareil-impresseur ajouté au télégraphe électrique*, et admet que cette modification diffère du mécanisme imaginé par moi dans le même but par l'addition d'un rouleau à encre, et par ce fait que la roue sur la circonférence de laquelle les types sont placés est mue ou poussée en avant d'une seule pièce, de manière à imprimer les caractères sur le cylindre recouvert de papier, au lieu que dans mon mécanisme chaque type était pressé individuellement. Quel que soit le mérite du procédé de M. Bain, il ne peut fournir à qui que ce soit un motif raisonnable de remettre en question l'originalité et la priorité de mon télégraphe électro-magnétique imprimant les dépêches, dont la propriété est mise à l'abri de toute atteinte, tant par les deux patentes que j'ai déjà rappelées et qui avaient pour objet le télégraphe lui-même, que par une patente

Digitized by Google

nouvelle et de date plus récente comprenant mon mécanisme à impression.

» Comme je n'ai rien avancé dans cette lettre que je ne puisse appuyer de documents authentiques et qui ne puisse être attesté par des témoins dignes de foi, j'ai droit de regarder comme indignes de réfutation toutes les assertions gratuites que l'on voudra encore émettre et de me refuser à toute correspondance ultérieure. »

M. Bain essaya de répondre à cette lettre écrasante; mais je ne trouve dans sa réponse aucun argument tant soit peu concluant en sa faveur. Il décrit longuement son arrivée à Londres, ses angoisses, ses entrevues avec M. Wheatstone, l'achat du modèle, etc., etc. Vous attendiez la réfutation des preuves mises en avant par M. Wheatstone, la voici :

Le savant professeur prétend avoir dit à ses amis qu'il pouvait reproduire l'heure d'une première horloge dans toutes les maisons d'une ville; or, reproduire aussi l'heure d'une seule horloge dans toutes les maisons même d'une petite ville est chose impossible, donc le savant professeur n'a pas tenu le langage qu'on lui prête. Et pour prouver cette prétendue impossibilité, M. Bain affirme que la quantité d'électricité nécessaire à la production de l'effet voulu serait telle qu'on ne pourrait la conduire par des fils, mais seulement par des barres, et que de plus ces barres métalliques deviendraient rouges en quelques minutes. Voilà le premier argument; voici le second : si M. Wheatstone avait eu, comme il le prétend, avant le mois de juillet 1840, l'idée du télégraphe imprimant les dépêches et de l'horloge télégraphique, il aurait certainement fait entrer ces deux perfectionnements dans la patente qu'il avait demandée en 1840, et qui ne fut définitivement obtenue qu'en juillet. Suivent deux lettres de MM. Laurie et Baddelay, lesquelles n'ajoutent rien à ce que nous avons dit.

Comme M. Bain maintenait avec audace ses premières assertions, et que les assertions positives d'un homme quel qu'il soit laissent toujours quelques doutes dans les meilleurs esprits, M. Wheatstone crut devoir les réfuter encore une fois en faisant imprimer dans le *Litterary Gazette* du 20 mars 1842 les documents suivants : 1° une déclaration de quatre hommes éminents, MM. Robert Willis, J.-F. Daniel, N. Arnolt, W. Snow Harris, qui affirment que, dans leur conviction intime, l'horloge télégraphique et l'impression des dépêches sont deux applications saillantes, faciles, du principe de la télégraphie électrique inventée en 1839 par M. Wheatstone; 2° quatre lettres de MM. Martin, Miller, Ward et Coowper. M. Martin

Digitized by Google

assure que M. Wheatstone lui parla en mai 1840, dans King's-College, de son projet de télégraphier l'heure; il ajoute avoir fait alors la réflexion naïve suivante : « Vous conduiriez donc le temps à travers les rues de Londres, comme nous conduisons maintenant l'eau? » M. Miller entendit M. Wheatstone développer cette idée le 17 juillet 1840. M. Ward raconte que, le 20 juin 1840, pendant qu'il tournait la manivelle du rhéotome, il lui échappa de dire que si le rhéotome tournait d'un mouvement uniforme, les signes télégraphiques indiqueraient l'heure. Provoqué par cette réflexion faite à haute voix, M. Wheatstone répondit : « C'est ce qui aura lieu en effet; j'ai conçu une modification du télégraphe électrique à l'aide de laquelle une horloge unique indiquera l'heure à la fois dans un grand nombre de lieux. » Curieux de connaître de quelle manière on obtiendrait ce résultat étonnant, M. Ward interrogea M. Wheatstone, qui lui expliqua, sur un dessin, comment, à l'aide des oscillations d'un pendule, il pouvait arriver à rompre et refermer le courant de manière à produire des signaux isochrones sur un nombre donné de cadrans. M. Ward ajoutait que M. Wheatstone lui indiqua encore d'autres moyens d'atteindre ce but, mais que le mode par emploi du pendule resta fixé surtout dans son esprit.

La lettre de M. Coowper, homme fort connu dans le monde mécanique par les perfectionnements qu'il a introduits dans la machine à imprimer, a pour objet le télégraphe imprimant les dépêches, et confirme la déclaration signée Bain que nous avons enregistrée plus haut. Voici cette lettre : « A l'époque où vous m'apprîtes que vous méditiez une addition à votre télégraphe électro-magnétique, laquelle vous permettrait d'imprimer les lettres au lieu de les montrer simplement, vous me demandâtes plusieurs renseignements sur la manière de préparer les divers papiers à décalquer que vous vous proposiez d'employer, et sur la meilleure forme à donner aux caractères à l'aide desquels vous deviez obtenir l'impression. La note dans laquelle je répondis aux questions que vous me faisiez relativement à votre télégraphe imprimant était datée du 10 juin 1840. »

Ces témoignages de personnes indépendantes et désintéressées suffisaient à justifier pleinement M. Wheatstone. Celui-ci crut devoir renouveler néanmoins les observations suivantes :

« Il est entièrement faux que M. Bain m'ait jamais montré un modèle d'horloge télégraphique, soit avant, soit après l'époque à laquelle je l'employai. Il n'a pas donné la moindre preuve qu'il eût à cette époque en sa possession un semblable modèle. Il n'a jusqu'ici introduit le témoignage d'aucune personne affirmant l'avoir vu chez lui.

Digitized by Google

» Il est également faux que M. Bain m'ait montré à cette même époque un modèle du télégraphe électrique imprimant les dépêches. Il me présenta seulement un modèle, si toutefois un objet aussi informe peut être digne de ce nom, d'un petit appendice à ajouter à mon télégraphe électrique, et destiné à produire un effet que j'avais déjà réalisé par différents moyens. L'appendice en question était simplement une addition mécanique n'impliquant aucun principe scientifique nouveau. Bien loin que l'ouvrage fait par lui pendant le temps que je l'ai employé eût uniquement pour objet, comme il l'affirme, sa propre invention, la seule inspection de son travail, et on peut le voir encore dans l'état où il l'a laissé, montrera qu'il était substantiellement copié du télégraphe inventé par moi un an auparavant; ce travail, de plus, fut fait sous ma propre direction.

» Il y a plus de huit mois que M. Bain a commencé à réclamer contre moi, et malgré l'appui qu'il a reçu des propriétaires de l'*Exhibition polytechnique*, malgré le concours d'autres personnes qui le soutiennent, il n'a encore réussi qu'à imiter les dispositions mécaniques du télégraphe électrique. Il ignore entièrement les principes de communication à distance au moyen d'électro-aimants que j'ai établis le premier en partant du beau théorème de M. Ohm. L'instrument produit par lui dernièrement à l'*Exhibition polytechnique* peut sans doute fonctionner dans un petit espace, comme beaucoup d'autres appareils, mais il serait dans l'impuissance absolue de fonctionner à travers une longue étendue de fils, tandis que tout le monde sait que mes télégraphes agissent à travers des fils de plusieurs milles de longueur, sous l'influence d'un petit nombre d'éléments voltaïques de dimensions très petites. Rien n'est plus propre à faire ressortir l'ignorance entière de M. Bain et de ses collaborateurs, relativement aux lois de l'électricité, que cette assertion qu'un fil rougira avant qu'on puisse obtenir un courant assez fort pour mettre en action simultanément un grand nombre d'électro-aimants dans un même circuit. Tout homme familiarisé avec ce genre de recherches sait que pour produire un effet donné dans chaque électro-aimant, le nombre des éléments voltaïques doit être en proportion avec les résistances additionnelles du circuit, mais que dès que cette condition est remplie, l'intensité du courant dans chaque section du fil, et par conséquent la température du fil, restent les mêmes. »

Ce que je viens de dire suffit, je pense, pour résoudre pleinement la question de priorité soulevée par les attaques si vives de M. Bain. Les documents que j'ai analysés sont d'autant plus irré-

Digitized by Google

cusables que je les ai tous puisés dans le manifeste même des adversaires de M. Wheatstone. Deux grands faits ressortent de cette discussion : 1° le 26 novembre 1840, M. Wheatstone a présenté à la Société royale de Londres et a fait fonctionner publiquement l'horloge électro-télégraphique, appareil dont il avait conçu le plan dès les premiers mois de cette même année. Au mois de janvier suivant, M. Barwise d'abord, puis MM. Barwise et Bain, réclamèrent la priorité de cette invention sans apporter d'autres preuves que les témoignages vagues de deux ou trois amis de M. Bain. Donc, d'après tous les principes reçus, l'invention de l'horloge électro-télégraphique appartient de droit et de fait à M. Wheatstone. 2° Il résulte d'un reçu signé par M. Bain lui-même, qu'à l'époque où il montra à M. Wheatstone le mécanisme à l'aide duquel il voulait imprimer les dépêches, le savant professeur était déjà en possession d'un appareil qui remplissait parfaitement le but qu'on voulait atteindre. Donc, M. Wheatstone est non seulement l'inventeur du télégraphe électro-magnétique, mais encore l'inventeur du télégraphe électro-magnétique imprimant les dépêches.

Pour montrer jusqu'où la haine peut aveugler, je rappellerai ici les arguments par lesquels MM. Bain et consorts s'efforcent de rabaisser le mérite de la découverte de M. Wheatstone ou même de la lui enlever. Ils ne voient dans le télégraphe électro-magnétique que trois choses : l'échappement, le cadran à signaux et le mécanisme qui rend l'échappement libre en utilisant l'attraction d'un électro-aimant temporaire. Or, disent-ils, l'échappement était employé en 1815 par M. Buzengeiger dans son horloge, mis en mouvement par l'électricité ; le cadran a été adopté en 1815 et 1823 par M. Ronalds ; M. Davy, en 1838, a utilisé l'attraction de l'aimant temporaire, donc M. Wheatstone n'a rien inventé. Renversons une fois pour toutes ce méchant échafaudage qui repose sur la plus insigne mauvaise foi. Il ne peut pas évidemment être question de l'échappement et du cadran en eux-mêmes, ils datent de plusieurs siècles ; mais il s'agit de l'échappement rendu libre par l'action d'un courant qui se transforme en aimant temporaire et attire un morceau de fer doux. Or, je le demande, n'est-ce pas une sotte injustice que de réclamer pour M. Bazengeiger, pour l'année 1815, une disposition qui, pour ce mécanicien et cette époque, ne pouvait pas même devenir l'objet d'une pensée quelconque, puisque, en 1845, les propriétés magnétisantes du courant n'étaient pas découvertes. Il s'agit d'un cadran qui, à chaque rupture et fermeture du courant, tourne d'un nombre de degrés déterminé, invariable,

Digitized by Google

sous l'action d'une force permanente d'un ressort ou d'un poids que le courant a mis en jeu. M. Ronalds a-t-il eu, a-t-il pu concevoir ce mécanisme en 1825 ou en 1823? évidemment non, et vous l'insultez en vous servant de son nom pour outrager un homme dont il admire le génie. Quant à ce qui regarde M. Davy, l'assertion de M. Bain n'est pas moins odieuse; il a fallu un grand effort d'animosité pour arriver à oublier que l'emploi de l'aimant temporaire servant à mettre en jeu une force permanente faisait partie de la première patente de MM. Wheatstone et Cooke; là est le grand pas de la télégraphie électrique, là est le plus beau titre de gloire de M. Wheatstone.

M. Arago a fait récemment à l'Académie une belle profession de foi : « Les savants, a-t-il dit, doivent, suivant moi, respecter jusqu'au scrupule les droits des artistes qui travaillent pour eux. S'il était vrai que ce principe eût été quelquefois méconnu, j'aurais montré, quant à moi, par ces explications et ma communication, combien il me paraît sacré. » J'applaudis pleinement à ces nobles dispositions de cœur de l'illustre secrétaire perpétuel, et comme lui je serai toujours prêt à défendre les droits de l'ouvrier intelligent dès qu'ils me seront démontrés; mais quand trop souvent l'ouvrier, par un fol orgueil, voudra, à l'exemple de M. Bain, disputer au savant qui l'employa, non seulement des perfectionnements mécaniques qu'il a très bien pu proposer, mais jusqu'à ses idées, et des idées authentiquement reconnues siennes par une première invention qui les renfermait; alors, bien malgré moi, je défendrai même le fort contre le faible, parce que le faible est devenu un agresseur injuste, et que la faiblesse non plus que la force ne constitue pas le droit.

J'examinerai, dans la partie descriptive, si M. Bain a réellement perfectionné le mécanisme de l'horloge électro-magnétique et de l'appareil destiné à imprimer les dépêches. Je puis dire déjà qu'il n'a pas critiqué sans fondement la disposition dans laquelle M. Wheatstone mettait le rhéotome sur l'arbre même du régulateur; il me semble difficile que cette résistance, quelque petite qu'elle soit, ne nuise pas à la régularité du mouvement; l'idée de se servir des oscillations du pendule pour rompre et fermer le courant est meilleure, mais nous avons vu que M. Ward la réclame comme lui ayant été indiquée par M. Wheatstone.

Digitized by Google

QUATRIÈME APPLICATION.

Appareil propre à rendre plus facile la comparaison de deux pendules.

Il arrive continuellement que, dans les observatoires surtout, on ait à comparer à un pendule étalon divers pendules à seconde qui devront servir plus tard à des expériences délicates de Géodésie. Cette comparaison est une opération délicate, que l'on exécutait jusqu'ici en étudiant attentivement avec l'oreille les oscillations des deux pendules à comparer, et notant avec le plus grand soin les coïncidences. Pour qui connaît la mobilité de l'esprit humain, cette méthode des coïncidences apparaîtra sujette à beaucoup d'erreurs. Il y a peu de jours, un des astronomes attachés à l'Observatoire royal, M. Faye, parlait devant moi d'un moyen nouveau qu'il étudiait depuis quelque temps, et qui reposait sur le principe fondamental de la transmission instantanée de l'étincelle électrique. Ce moyen me parut très complexe et très difficile à réaliser, et j'osai faire part à mon tour d'une idée qui m'avait été inspirée par ce que j'avais appris de l'horloge électrique de M. Wheatstone. Voici quelle serait la disposition générale de l'appareil. On se servirait des oscillations des deux pendules à comparer pour faire mouvoir sur un même cadran deux aiguilles. Pour obtenir ce résultat, il suffira évidemment de suspendre aux extrémités des deux pendules deux petits fils mobiles très minces qui, lorsque les pendules arriveront au point le plus bas de leur course, établiront ou fermeront le courant; la fermeture du courant aimantera les petits morceaux de fer doux liés aux échappements d'horlogerie qui doivent faire mouvoir les aiguilles correspondantes à chaque pendule. Chaque oscillation des pendules ferait donc faire un pas aux aiguilles, et la comparaison des pendules, si pénible quand on voulait y procéder directement, est ramenée à la simple considération de la marche de deux aiguillles sur un même cadran. J'ai communiqué cette pensée à M. Froment, ancien élève de l'École polytechnique, aujourd'hui ingénieur-mécanicien distingué qui a exécuté avec le plus grand succès tous les systèmes connus de télégraphie électrique. Cet habile artiste a déjà dessiné le nouvel appareil, qui ne présente aucune difficulté, et il désire aussi ardemment que moi de le voir mis en usage à l'Observatoire royal. Puisque j'ai été amené à nommer M. Froment, je consignerai ici deux observations que j'ai faites dans ses ateliers.

Digitized by Google

J'ai dit, dans plusieurs circonstances, que l'emploi de l'appareil magnéto-électrique était préférable pour la télégraphie électrique à l'emploi des piles; je ne rétracte pas cette opinion, mais je signalerai un petit inconvénient du premier genre de moteur.

Quand on se sert de l'appareil électro-magnétique, il faut nécessairement mouvoir par impulsions brusques et vives la roue horizontale qui porte les signaux; si on la faisait tourner mollement, les courants d'induction ne se dégageraient pas nettement, il y aurait de l'hésitation dans la rotation des cadrans, les indications seraient incertaines ou même défectueuses; j'avais constaté plus d'une fois, à la gare du chemin de fer de Versailles (rive droite), que presque personne ne réussissait du premier coup à transmettre une dépêche. M. Froment m'a donné le premier l'explication de ce fait: on ne réussit pas quand on n'est pas arrivé par l'exercice à donner à la roue ce mouvement de rotation brusque, tranché, que j'avais si bien remarqué quand la main de maître de M. Wheatstone la conduisait.

Comme la pile donne naissance à un courant continu et non plus discontinu, l'inconvénient dont je viens de parler ne subsiste plus; on peut mouvoir la roue aussi mollement que l'on veut.

M. Froment m'a dit encore que de tous les appareils de télégraphie électrique qu'il a construits, celui qui a donné les indications les plus nettes et les plus rapides, est un modèle presque informe en carton dans lequel le petit morceau de fer doux aimanté fait avancer directement d'un pas, par un enchaînement de leviers, le cadran mobile sans l'intermédiaire d'un mouvement d'horlogerie. Faut-il en conclure que j'ai exagéré quand j'ai présenté l'introduction d'une force permanente comme le plus grand pas de la télégraphie électrique? Non sans doute, et M. Froment est de mon avis. Le fait que je viens de signaler de la perfection d'un appareil incomplet est un pur hasard sur lequel il n'est pas permis *à priori* de compter. On n'obtiendra, généralement parlant, des indications régulières que par le mécanisme de M. Wheatstone.

CINQUIÈME APPLICATION.

Thermomètre-télégraphe.

Les applications que nous avons énumérées jusqu'ici sont sans doute ingénieuses et grandement utiles; elles le cèdent cependant sous ce double rapport au thermomètre-télégraphe, que fit d'abord

Digitized by Google

connaître la note suivante insérée dans le *Bulletin de l'Académie de Bruxelles*, mai 1843.

« Le principe auquel M. Wheatstone a recours est celui dont il a fait usage dans son télégraphe-électrique, c'est-à-dire la détermination à l'aide des courants des plus faibles forces mécaniques. Par le simple contact du mercure avec un fil fin de platine placé dans le tube des instruments météorologiques, on pourra apprécier de demi-heure en demi-heure la marche du baromètre, du thermomètre et du spychromètre avec plus de certitude que ne pourrait le faire l'observateur le plus exercé. Le prix d'un pareil instrument n'excèderait pas 1,300 fr. M. Wheatstone se propose de faire l'essai du nouvel appareil météorologique à l'observatoire de Richemond.

» J'ai terminé, ajoute M. Wheatstone, mon thermomètre-télégraphe pour les expériences à faire avec le ballon captif. Cet instrument indiquera toutes les variations thermométriques à la distance de plusieurs milles. Il porte une échelle variable de 28 degrés Farenheit, donne les trois-centièmes parties de cette échelle, et permet de faire une observation par trois minutes.

» J'ai encore inventé et construit une modification importante de cet instrument d'après lesquelles les indications d'un thermomètre placé d'une manière permanente à une profondeur quelconque au-dessous de la surface du sol, peuvent être lues dans le cabinet de l'observateur. »

Ici vraiment l'imagination s'effraie; les profondeurs de l'espace et de l'abîme sont donc devenues accessibles; vous y déposez un instrument inerte, et l'espace et l'abîme se chargent de vous envoyer eux-mêmes instantanément les indications de pression atmosphérique, de température, d'humidité que vous avez désirées et qui vous arrivent comme par enchantement dans votre laboratoire. Le fond du puits artésien de Grenelle, par exemple, pourra vous faire connaître à volonté et sans que vous ayez un pas à faire, sa température et la vitesse de ses eaux. Dans quel monde de merveilles sommes-nous donc transportés! Naguère c'était la lumière qui se faisait pour nous le plus étonnant des dessinateurs, aujourd'hui c'est la nature entière qui vient se peindre sous nos yeux. M. Wheatstone est donc sorcier, s'il n'est pas charlatan; il n'est ni l'un ni l'autre. Génie heureux, il a rencontré un filon d'or massif; est-il étonnant qu'il vous prodigue ses trésors?

Digitized by Google

SIXIÈME APPLICATION.

Chronoscope. — Moyen de mesurer des intervalles extrêmement courts, comme la durée du choc des corps élastiques, celle du débandement des ressorts, de l'inflammation de la poudre, la vitesse des projectiles, etc.

Il est un fait qui doit dominer la longue discussion que cette application nouvelle va soulever, c'est que dès 1840 M. Wheatstone a fait annoncer par M. Quételet, dans une des séances de l'Académie de Bruxelles, que, par une extension du mécanisme de son télégraphe électrique, il avait trouvé le moyen de mesurer la durée des phénomènes qui se produisent dans un temps très court, la vitesse des projectiles, etc. Il avait à cette époque, en un mot, inventé le Chronoscope. L'idée du grand progrès que nous allons raconter lui appartient donc évidemment, il en a pris possession dans le monde entier, il ne peut rester de doutes que sur l'exécution de l'appareil. Est-il, oui ou non, devenu entre les mains de M. Wheatstone, avant que MM. de Constantinoff et Bréguet s'en occupassent, un instrument réel pouvant donner et ayant déjà donné des résultats comparables? voilà la seule question à résoudre. La solution n'est pas douteuse pour moi ; exposons d'abord les faits, écoutons les prétendants divers ; la vérité ressortira de cette exposition facile, et nous conclurons sans peine.

La première note imprimée sur ce sujet est sortie de la plume de M. Pouillet ; je la reproduis toute entière, parce que les considérations générales par lesquelles elle débute présentent un très grand intérêt.

« On a fait des recherches intéressantes sur la rapidité avec laquelle s'exercent les actions électriques et magnétiques ; mais en général on n'a pas assez distingué ce qui appartient aux fluides eux-mêmes de ce qui appartient à la matière pondérable à laquelle ils impriment des mouvements. Cette distinction est d'autant plus nécessaire que l'action propre des fluides entre eux est primitive et directe, et qu'elle s'accomplit avec une prodigieuse vitesse, tandis que l'action qu'ils exercent sur les corps pesants est secondaire et indirecte ; et par la nature des choses elle ne peut se manifester que par des mouvements dont la vitesse est incomparablement moindre. Ainsi, lorsqu'une aiguille de boussole est en équilibre sous l'influence du magnétisme terrestre, et qu'on la voit se dévier par une cause étrangère comme une décharge électrique, un coup de foudre ou une aurore boréale, il faut bien distinguer l'instant rapide où

Digitized by Google

les fluides magnétiques ont été affectés, de l'instant tardif où nos yeux peuvent constater un mouvement appréciable dans la masse pesante de l'acier qui constitue l'aiguille. Il se pourrait bien faire qu'entre ces deux instants il y eût un intervalle de temps égal à mille fois ou à dix mille fois la courte durée pendant laquelle l'action propre des fluides s'est fait sentir. Les phénomènes qui se succèdent dans ces circonstances peuvent être assimilés, sous quelques rapports, à ceux qui se produisent dans le pendule balistique, quand le projectile, n'ayant qu'une masse relative petite, se trouve animé cependant d'une très grande vitesse. Alors le pendule peut être tellement disposé que son mouvement, par rapport à la courte durée du choc, ne devienne bien perceptible qu'après un temps considérable. Aussi n'essaie-t-on pas d'apprécier par le pendule le temps pendant lequel le projectile agit, bien que cette action, qui s'exerce ici entre des corps pesants, ayant des masses de grandeurs finies et comparables entre elles, ait sans doute une durée très grande relativement à la durée de l'action que les fluides électriques exercent directement entre eux, ou directement sur la matière pondérable.

» Ce que l'on détermine au moyen du pendule balistique, c'est la vitesse de translation du projectile lorsqu'on connaît sa masse, et lorsqu'on connaît en même temps les conditions du pendule et l'amplitude de la déviation qu'il a éprouvée sous l'influence du choc. Il y a là quatre quantités liées entre elles par des relations simples qui se déduisent des lois de la mécanique, et trois de ces quantités étant connues, la quatrième peut être déterminée avec plus ou moins d'exactitude.

» L'analogie que l'on peut établir entre le pendule balistique et l'aiguille aimantée est assurément très imparfaite, puisque les forces qui agissent dans les deux cas sont d'une nature tout-à-fait différente: cependant elle n'est pas sans utilité pour faire comprendre le parti que l'on peut tirer de l'aiguille magnétique pour une foule de recherches auxquelles, jusqu'à présent, elle n'avait pas été appliquée.

» On conçoit, en effet, que si une aiguille aimantée est en repos et qu'un courant électrique vienne agir vivement sur elle pendant un temps très court, par exemple pendant un dixième, un centième ou un millième de seconde, il pourra résulter de cette impulsion unique et presque subite un mouvement de déviation lent et régulier, d'une amplitude déterminée et parfaitement appréciable. Ce mouvement de déviation sera, par sa cause, différent de celui du pendule balistique, mais il lui sera fort analogue par ses effets, car il se transformera comme celui-ci en oscillations plus ou moins rapides. Dans ce dernier cas, la déviation primitive dépend de l'é-

Digitized by Google

tablissement du pendule, c'est-à-dire de sa masse, de sa longueur, de son moment d'inertie, etc., puis de la vitesse et de la masse du projectile; et les oscillations qui en sont la suite et qui sont produites par l'action de la pesanteur dépendent elles-mêmes de cette première impulsion. Dans le cas de l'aiguille aimantée, la déviation primitive dépend aussi de l'établissement de l'aiguille, c'est-à-dire de sa masse pondérable, de sa longueur, de son moment d'inertie, de la quantité et de la distribution de son magnétisme libre; puis elle dépend aussi de l'intensité du courant électrique et du temps pendant lequel il a exercé son action; enfin, les oscillations qui en sont la suite et qui sont produites par la force magnétique terrestre, dépendent elles-mêmes de cette première impulsion. Ainsi, la masse et la vitesse du projectile sont ici remplacées par l'intensité du courant et par le temps pendant lequel il agit, si bien que la durée de son action peut se déduire de son intensité, pourvu que les conditions relatives à l'aiguille soient complétement connues.

» S'il arrive, par conséquent, qu'un courant électrique puisse agir d'une manière régulière et identique à elle-même pendant un instant très court, tel, par exemple, qu'un millième ou dix-millième de seconde, et s'il arrive en même temps qu'il puisse, par cette action si prompe, produire sur un système magnétique convenable une première impulsion, une déviation primitive assez lente et d'une amplitude assez étendue, rien ne sera plus facile que de déterminer avec exactitude des intervalles de temps qui se comptent par millièmes ou par dix-millièmes de seconde. Pour obtenir de telles mesures au moyen des aiguilles aimantées, tout se réduit donc à ces questions essentielles : Quelle est la limite de temps nécessaire à un courant pour traverser un circuit donné? Quelle est la limite d'amplitude des déviations qu'il peut produire sur le système magnétique le plus impressionnable?

» La première question a été examinée dans l'un des mémoires que j'ai présentés à l'Académie, en 1837, sur les lois de l'intensité des courants électriques; j'avais constaté alors qu'un circuit de plusieurs milliers de mètres de longueur était traversé par le courant dans un espace de temps qui ne s'élevait pas à $\frac{1}{7000}$ de seconde, et que dans cet instant si rapide ce n'était pas seulement une partie de l'électricité qui se manifestait dans le circuit, mais que le courant passait intégralement avec toute son intensité. Je ne sache pas que, depuis cette époque, on ait poussé plus loin ce genre de recherches; j'admettrai donc ce résultat comme la limite de ce qui est démontré, mais non pas comme la limite de ce qui peut l'être.

Digitized by Google

Je suis porté à croire, au contraire, que dans un temps plus court l'électricité peut traverser un circuit d'une étendue beaucoup plus considérable. Il serait intéressant de faire des expériences sur ce sujet avec des circuits de trois ou quatre cent mille mètres, comme ceux qui sont employés aux télégraphes électriques; en opérant sur de telles longueurs, on aurait de bien plus grandes facilités pour trouver la limite de vitesse avec laquelle se propage l'électricité, et aussi pour découvrir si cette limite dépend de la longueur absolue des circuits, ou de leur degré de conductibilité.

» Le seconde question n'est pas résolue par la première : de ce que le courant passe intégralement dans $\frac{1}{7000}$ de seconde, et de ce qu'il maintient en équilibre l'aiguille de la boussole d'intensité par son retour périodique à des intervalles aussi rapprochés, il n'en résulte aucunement qu'une seule de ces actions doive imprimer à l'aiguille une déviation sensible et observable. Il fallait donc isoler l'un de ces chocs pour en connaître l'effet. J'y suis parvenu de la manière suivante :

» Sur un plateau de verre de 84 centimètres de diamètre est collée une bande d'étain d'un millimètre de largeur, s'étendant comme un rayon de la circonférence vers le centre; là, elle communique à une bande circulaire plus large qui entoure l'axe de rotation. Supposons que le plateau tourne à raison d'un tour par seconde et que les deux extrémités d'un circuit électrique s'appuient par des ressorts, l'une sur la bande centrale qu'il touche toujours, l'autre sur le verre du plateau près de sa circonférence; au moment où la bande d'un millimètre viendra passer sous ce dernier, il y aura communication électrique, et la durée du courant sera justement égale à la durée du passage de la bande, c'est-à-dire à $\frac{1}{2250}$ de seconde si l'on touche près de la circonférence, à $\frac{1}{1260}$ si l'on touche au milieu du rayon, etc.

Si le plateau fait deux tours, trois tours, quatre tours par seconde, on obtiendra ainsi des passages d'une durée deux, trois ou quatre fois moindre.

Or, en faisant l'expérience, j'ai trouvé qu'une pile ordinaire de Daniell à six éléments, ayant à traverser un circuit d'environ 40 mètres de fil de cuivre de 1 millimètre, donne un courant assez intense pour que l'action qu'il exerce pendant $\frac{1}{5000}$ de se-

Digitized by Google

conde imprime une déviation de 12 degrés à l'aiguille d'un galvanomètre peu sensible; l'aiguille met environ dix secondes à parcourir cet arc, de telle sorte que l'action rapide des fluides électriques et magnétiques qui s'est exercée pendant $\frac{1}{5000}$ de seconde se trouve par là transformée en un mouvement cinquante mille fois plus lent, lorsqu'il passe dans la matière pondérable de l'aiguille.

» Le galvanomètre de M. Melloni a une sensibilité qui est maintenant connue de tous les physiciens; elle est variable dans les divers appareils: cependant elle peut être prise pour terme de comparaison lorsqu'il ne s'agit que de donner une idée approximative des effets électriques. L'un de ces instruments donne 15 degrés de déviation lorsqu'on fait agir sur lui pendant $\frac{1}{5000}$ de seconde le courant d'un seul élément de Daniell dont le circuit se compose d'environ 20 mètres de cuivre de 1 millimètre. Ainsi, avec cet instrument l'on peut apprécier sans peine la dix-millième partie d'une seconde.

» On comprend qu'il y a ici à déterminer les lois suivant lesquelles l'amplitude de la déviation varie dans le même appareil, avec l'intensité du courant et la durée du contact; ces lois peuvent se déduire de diverses considérations théoriques: cependant il sera nécessaire de les vérifier par des expériences précises. En attendant, je me suis borné à graduer empiriquement l'appareil qui m'a servi, c'est-à-dire à dresser une table des déviations qu'il éprouve sous l'influence d'un courant connu agissant pendant un temps déterminé. Cette graduation une fois faite, le galvanomètre devient, en quelque sorte, un pendule balistique qui donne le temps pendant lequel le même courant exerce son action.

» Parmi les applications que j'en ai pu faire jusqu'à présent, je citerai seulement celle qui est relative à la vitesse d'inflammation de la poudre.

» L'expérience se dispose de la manière suivante: les deux extrémités d'un circuit dans lequel se trouvent le galvanomètre et un élément de Daniell viennent s'adapter, l'une à la capsule mise en place sur sa cheminée, et l'autre au chien du fusil, toute la batterie étant bien isolée du canon à quelque distance, de manière à être coupée par la balle à l'instant où elle sort. Voilà tout l'appareil. Lorsqu'on tire, le courant passe donc pendant tout le temps qui s'écoule, depuis l'instant où le chien frappe la capsule jusqu'à l'instant où la balle coupe le fil. Les déviations produites dans diverses expériences faites avec la même charge de poudre sont par-

Digitized by Google

faitement concordantes; les observations se font avec la plus grande facilité, et avec la charge dont j'ai fait usage, les valeurs extrêmes sont $\frac{1}{140}$ et $\frac{1}{150}$ de seconde, pour le temps qui s'écoule entre l'instant où la capsule est frappée et l'instant où la balle sort du canon.

» En variant les charges, en prenant des poudres de diverses qualités et des armes différentes, à canons ordinaires ou à canons rayés, on pourra aisément déterminer dans tous les cas le temps dont il s'agit.

» Pour appliquer le même principe à la recherche des vitesses d'un projectile en divers points de sa trajectoire, il suffit de disposer sur sa route un système de fils de soie, et plus loin un système de fils conducteurs, de telle sorte qu'en rompant le fil de soie, le projectile établisse la communication électrique, et qu'en rompant le fil conducteur il la supprime; la déviation observée donnera le temps du passage : seulement il faudra tenir compte du temps nécessaire au débandement du ressort qui doit établir la communication où le fil de soie est coupé. Ce temps se détermine lui-même très facilement, comme on peut déterminer aussi le temps du choc des corps élastiques; ce temps est très court : dans les essais que j'ai faits, il a varié de $\frac{1}{1500}$ à $\frac{1}{2000}$ de seconde.

» Le principe dont j'essaie de donner une idée, et sur lequel j'appelle l'attention des physiciens, n'est pas seulement applicable à la mesure du temps pendant lequel s'accomplissent les effets mécaniques les plus rapides; il pourra, j'espère, être d'un grand secours comme moyen de déterminer les intensités des courants que l'on appelle *instantanés*, c'est-à-dire ceux qui sont produits par l'électricité ordinaire et par les phénomènes d'induction.

» La graduation précise des galvanomètres exige des mouvements de rotation très uniformes. On peut sans doute obtenir cette uniformité avec des mécanismes d'horlogerie; mais je suis porté à croire qu'on les obtiendra avec plus de facilité au moyen d'une machine électro-magnétique convenablement disposée, et c'est peut-être là le service le plus immédiat que l'on puisse attendre de ces sortes de machines. »

Je ferai une seule réflexion sur la note de M. Pouillet : le silence qu'il garde par rapport à M. Wheatstone m'étonne et m'afflige profondément. Quoi! quand il rappelait ses travaux relatifs à la vitesse de l'électricité, ou quand il étudiait une application depuis long-

Digitized by Google

temps annoncée par le savant professeur de King's-College, M. Pouillet ne s'est pas cru obligé au moins de le nommer!

En suivant toujours l'ordre chronologique, écoutons maintenant M. Bréguet. La note suivante a été lue à l'Académie des sciences le 20 janvier 1845, et imprimée dans les *Comptes-rendus :*

« Le mémoire que M. Pouillet vient de lire à l'Académie sur l'emploi de l'électricité comme moyen de déterminer des temps extrêmement courts me fait sentir la nécessité de publier cette note, qui se rapporte à un instrument dont le but était le même, et que j'ai construit il y a un an pour le gouvernement russe, conjointement avec M. de Konstantinoff, officier d'artillerie très distingué.

» M. de Konstantinoff arrivait d'Angleterre. Quand il me vint voir, il avait déjà eu l'idée d'un instrument propre à mesurer la vitesse initiale des projectiles, ainsi que la vitesse dans différents points de la trajectoire. Ayant fait la connaissance de M. Wheatstone, si connu par ses ingénieux travaux, ils eurent ensemble plusieurs entretiens à ce sujet, et il vit chez ce même savant un appareil qui, au moyen de courants électriques interrompus et rétablis, permettait de mesurer le temps de l'inflammation de la poudre avec un grand degré d'exactitude. M. Konstantinoff crut cependant, par une autre disposition, pouvoir obtenir encore plus d'exactitude et mesurer des intervalles beaucoup plus courts. Il me consulta sur ce projet, et croyant possible la solution du problème qu'il me proposait, nous commençâmes à travailler ensemble au mois de mars 1843.

» Le problème était celui-ci : Disposer un instrument qui pût indiquer et conserver trente ou quarante observations successives, faites dans des espaces de temps très rapprochés, d'un phénomène se passant plus ou moins loin de l'endroit où se trouve placé l'instrument d'observation. Il nous vint naturellement dans l'idée d'employer pour cet objet l'électricité.

» Il fallait de plus unir à cette partie physique la partie mécanique, qui pouvait devenir assez compliquée, mais qui cependant ne le fut pas autant que semblait le faire présumer la solution cherchée.

» Des raisons particulières m'ont empêché de faire connaître cette machine; mais rien ne s'opposant plus maintenant à sa publicité, je vais tâcher d'en donner une idée aussi exacte qu'il m'est possible de le faire sans figures; elle a été vue d'ailleurs par MM. Arago, Regnault et Morin, dont l'autorité pourra être invoquée au besoin pour assurer ce que j'avance. M. Regnault surtout l'a pour ainsi

Digitized by Google

dire suivie dans toutes ses phases, et a assisté à presque toutes les expériences d'essai qui avaient pour but la vérification des principes sur lesquels elle était établie.

» Nous pensâmes à employer un appareil à plateau tournant, semblable à celui de M. Morin, et comme il nous fallait plusieurs indications successives et distantes les unes des autres, nous avions pensé faire déplacer le style, s'approchant ou s'éloignant du centre à chaque nouvelle marque; mais ce moyen ne nous parut pas suffire, en ce que les marques faites au centre et celles faites à la circonférence n'étaient plus dans les mêmes limites d'erreur : car plus le rayon d'un arc tracé par le style eût été petit, plus la chance d'erreur eût été grande.

» Nous avons alors mis les indications dans des conditions identiques, en exécutant un cylindre assez long pour faire quarante à cinquante observations distinctes et qui appartinssent toutes à un même rayon. C'est en juin 1843 que nous commençâmes la construction de cette machine, qui ne fut terminée que le 29 mai 1844.

» Voici quelle en est la disposition :

» L'appareil est monté sur un bâti en fonte, et se compose de six parties distinctes :

» 1° D'un système de roues dentées mis en mouvement par une corde roulée autour d'un cylindre et à laquelle est suspendu le poids moteur;

» 2° D'un cylindre ayant un mètre de circonférence et 0m,36 de longueur, divisé sur sa surface en mille parties, qui sont donc des millimètres. Pour diminuer son frottement sur ses tourillons, il est porté par un système de galets. Sur son axe est un pignon qui communique avec le rouage ci-dessus; à une extrémité un volant de quatre ailettes, et à l'autre un plateau du même diamètre que le cylindre;

» 3° D'un petit chemin métallique, parallèle à l'axe du cylindre; les deux règles qui forment ce chemin sont isolées l'une de l'autre par de l'ivoire;

» 4° D'un petit chariot monté sur trois roues de cuivre et roulant sur les deux règles; il porte trois électro-aimants et deux styles indépendants l'un de l'autre, mais dépendants chacun d'un de ces électro-aimants. Le troisième électro-aimant est placé sous le chariot et sert à le retenir jusqu'au moment où l'on veut qu'il parte;

» 5° D'un échappement à ancre dont le bras en fer doux, oscillant entre deux électro-aimants, est appelé tantôt à droite, tantôt à gauche, suivant qu'un courant passe autour de l'aimant de droite

Digitized by Google

ou de celui de gauche. Ce va-et-vient laisse chaque fois échapper une dent de la roue sur l'axe de laquelle est un petit treuil où est enroulé un fil de soie tenant au chariot qui est tiré par un poids. Le passage du courant d'un aimant à l'autre se fait à chaque demi-tour du cylindre au moyen d'un commutateur placé sur son axe; de cette manière le chariot avance d'une quantité constante à chaque demi-tour, et sa vitesse d'avancement est proportionnelle à celle du cylindre;

6° Enfin d'une disposition particulière pour s'assurer du mouvement uniforme, indépendamment de tout appareil chronométrique, et qui donne le moyen de déterminer les limites de l'erreur dans les résultats finals.

» Ainsi l'appareil chronométrique a pour base le principe dont s'est servi M. Morin pour établir ses plateaux tournants, avec cette différence que le plateau est remplacé par un cylindre, et que le volant porte des ailettes qui sont des portions de spirale, dont la tangente est inclinée de 45 degrés sur le rayon vecteur, ce que nous avons trouvé préférable pour obtenir plus rapidement le mouvement uniforme, parce que, ainsi, l'air offre une plus grande résistance qu'avec des ailettes planes. La position de la corde qui porte le poids moteur est rendue constante en passant sur une poulie qui glisse sur une forte tringle; à mesure qu'elle se développe, la corde est mouflée sur deux poulies coniques, et peut l'être à deux ou à six brins. Enfin, l'appareil, quoiqu'établi dans de fortes proportions, est construit avec tout le soin que nous apportons à nos ouvrages les plus délicats.

» Le remontoire, qui, en général, dans ces sortes de machines, continue d'engrener avec la roue du cylindre, porte ici un système de désembrayage très simple, de sorte qu'une fois le poids remonté, le remontoir n'a aucune communication avec la machine, ce qui supprime tout frottement inutile.

» Nous avons construit plusieurs petits mécanismes semblables l'un à l'autre, mais séparés les uns des autres, et renfermés chacun dans une petite boîte numérotée; ils servaient à établir le circuit pour une cible, quand celle d'avant avait été percée. Ces boîtes contenaient une roue d'ivoire avec des dents à rochets, et portant une dent métallique; sur son axe était une palette en fer qui avait un cliquet entrant dans les dents de la roue. Un autre cliquet, indépendant du premier, était un cliquet de retenue, et rétablissait un circuit voltaïque lorsque la dent métallique venait à le toucher.

» Devant la palette était un électro-aimant qui l'attirait lorsque le courant circulait autour de lui, et la laissait repartir quand un

Digitized by Google

fil était coupé dans une cible. C'est dans ce mouvement que la roue d'ivoire avançait et approchait la dent métallique du cliquet de retenue.

» Une série de distances, à partir de la charge, étant déterminée, un conducteur passera devant le boulet, un autre devant la bouche du canon, et, pour les autres points, on placera des cibles dont la surface augmentera avec la distance.

» Les cibles sont de grands cadres dont le fil conducteur de l'électricité parcourt la surface en tous sens, de manière à présenter l'aspect d'un filet dont les mailles sont plus petites que le diamètre du projectile, afin d'être certain que le fil soit coupé en quelque endroit que la cible soit percée. Le courant circulant dans une cible, passant en même temps autour de l'électro-aimant d'un des styles, maintient, par l'aimantation, celui-ci éloigné du cylindre; d'où l'on voit que, au moment où la cible sera percée, le courant été interrompu, le style tombera en faisant une marque sur le cylindre. Le projectile, suivant sa route, percera une autre cible qui, communiquant avec le second style, le fera tomber sur le cylindre, où il fera aussi une marque, et c'est à l'aide de la distance entre ces deux marques et de la vitesse connue du cylindre que l'on calculera la vitesse du projectile quand il passait d'une cible à la suivante.

» On pouvait avoir un courant et un style pour chaque cible; mais il était plus simple de ne faire usage que de deux courants, quel que fût le nombre des cibles, et pour cela on fit usage des petites boites citées plus haut, de la manière suivante :

» On place chaque boite entre deux cibles à partir de la seconde, et, par leur moyen, aussitôt que la seconde cible est percée, le courant s'établit pour la troisième, et le premier style se relève; la troisième cible percée, le second style se relève, le premier retombe, et le courant parcourt la quatrième cible. Cette opération se répète ainsi jusqu'à la dernière.

» Les deux styles ayant chacun leur courant propre et étant par conséquent indépendants l'un de l'autre, on peut mesurer des espaces infiniment petits, ce qu'il ne serait pas possible de faire avec un seul style et un seul courant, qui serait interrompu, puis rétabli.

» Nous avons vu que le cylindre est divisé en mille parties, sa circonférence étant de 1 mètre. Chaque millimètre représente $\frac{1}{1000}$ de seconde, lorsqu'il fait un tour en une seconde, $\frac{1}{2000}$ quand il en fait deux, $\frac{1}{3000}$ quand il en fait trois.

Digitized by Google

» Contre sa circonférence et contre celle du plateau, qui, comme on sait, est isolé, frottent des ressorts ; sur chacune de ces circonférences est un arc en ivoire, afin de produire une interruption aux courants électriques que l'on fait passer par les électro-aimants des styles. Cette disposition est destinée à la vérification de l'uniformité du mouvement et de la mesure du temps que les styles mettent à tomber sur le cylindre, quantité nécessaire à connaître exactement, ou au moins les limites d'erreurs dans lesquelles elle oscille, afin de faire les corrections nécessaires quand on mesure le nombre de divisions entre deux marques voisines des styles, qui doit donner la vitesse de l'espace parcouru par le projectile.

» On voit donc qu'à chaque tour, ou chaque fois que la portion d'ivoire arrive sous le ressort, le courant est interrompu, le style tombe, puis se relève à la fin de l'arc isolant, pour retomber au tour suivant.

» Maintenant, si l'on observe avec soin la division du cylindre sur laquelle le style tombe, le cylindre étant en repos, et ensuite le point où il tombe lorsque le cylindre est en mouvement, sa vitesse de rotation en une seconde de temps étant connue, on aura facilement la mesure du temps que le style a mis à tomber pendant l'arc ci-dessus mesuré. C'est ainsi que le cylindre faisant deux tours et demi par seconde, l'arc mesuré est de 30 millimètres ; de là $\frac{30}{2500} = 0^s,012$ pour le temps que le style a mis à tomber sur le cylindre. On a répété mille fois ces épreuves.

» Pour observer si le mouvement est uniforme, on fait tourner le cylindre, et quand on le suppose bien égal, on établit les circuits. Voici alors ce qui se passe :

» Le chariot qui porte les électro-aimants et les styles se met en mouvement, et à chaque tour les styles font leurs marques sur le cylindre, mais en des endroits différents, dans le sens horizontal.

» Quand on est arrivé au bout du cylindre, et qu'on examine les indications, on doit, si le mouvement est uniforme, trouver toutes les marques sur une même directrice, s'il est accéléré ou retardé sous la forme d'une ligne héliçoïde, ou sinueuse s'il est inégal. On a par là un véritable appareil chronométrique qui se vérifie de lui-même.

» Nous avons observé le mouvement sur des vitesses de deux tours et demi et trois tours par seconde, et, en faisant tomber le style, nous avons trouvé toutes les marques sur une même directrice ; quelquefois il y avait des différences de 1 millimètre, ce qui

Digitized by Google

indiquait à cet instant une variation de mouvement de $\frac{1}{2500}$ = 0s,0004.

» Pour apprécier le moment où la vitesse devenait uniforme, nous observions les tours de l'axe immédiatement avant le cylindre, avec un compteur ; mais pour éviter cette opération plus ou moins fastidieuse, j'eus l'idée de mettre un commutateur sur l'axe et de disposer un compteur (dont l'aiguille fait des points sur un cadran), avec un système d'électro-aimants.

» A chaque tour de l'axe, le commutateur rétablissait un circuit électrique qui, circulant autour des électro-aimants, produisait une vive attraction, et l'extrémité d'un levier pressait sur le bouton du compteur ; les points faits ainsi sur le cadran étaient marqués avec une grande régularité.

» Ce dernier instrument pourra, à ce qu'il nous semble, être employé avec avantage dans les usines ; car au moyen de conducteurs partant du cabinet du directeur, et communiquant, soit au volant, soit au cylindre d'une machine à vapeur, il pourra à chaque instant de la journée et sans se déranger connaître la vitesse de l'un ou de l'autre. Pour plus de commodité, on pourra remplacer la pile par des courants électro-magnétiques.

» Cet instrument pourrait encore servir utilement dans les observations que l'on peut faire sur la vitesse des roues hydrauliques, suivant la nature des opérations que l'on fait exécuter aux outils qu'elles conduisent. »

Entendons enfin la réclamation de M. Wheatstone, 26 mai 1845.

« Je vois dans les *Comptes-rendus de l'Académie des sciences* que, dans la séance du 20 janvier, il a été lu une communication de M. Bréguet, dans laquelle il attribue à M. le capitaine de Konstantinoff et à lui-même l'invention du chronoscope électro-magnétique, instrument que j'avais moi-même inventé et confectionné plusieurs années auparavant, dans le but de mesurer les mouvements rapides, et surtout la vitesse des projectiles.

» Ce fut au commencement de 1840 que j'inventai cet instrument. Mon chronoscope se composait alors d'un mouvement d'horlogerie faisant agir une aiguille indicatrice qui marchait ou s'arrêtait suivant qu'un électro-aimant agissait sur une pièce de fer doux, l'attirant lorsqu'un courant attirait l'hélice de l'aimant, et l'abandonnant à lui-même lorsque le courant venait à cesser, comme dans mon télégraphe électro-magnétique, dont cette invention peut être considérée comme une des dérivations. La durée du courant

Digitized by Google

était ainsi mesurée par l'étendue du cercle parcouru par l'aiguille du chronoscope.

» Une relation était établie entre la durée du courant et celle du mouvement du projectile par les moyens suivants : un anneau en bois embrassait l'embouchure d'un canon chargé, et un fil métallique tendu reliait deux côtés opposés de cet anneau isolant, passant ainsi devant la bouche du canon. A une distance convenable était établi un but, disposé de telle façon que le moindre mouvement qu'on lui imprimait établissait un contact permanent entre un petit ressort en métal et une autre pièce de métal. Une des extrémités du fil métallique de l'électro-aimant était attachée à un des pôles d'une petite batterie voltaïque. A l'autre extrémité de l'électro-aimant étaient attachés deux fils métalliques, dont un communiquait avec le petit ressort du but, et l'autre à l'une des extrémités du fil métallique tendu devant la bouche du canon ; de l'autre extrémité de la batterie voltaïque partaient aussi deux fils métalliques, dont l'un aboutissait à la pièce métallique fixée sur le but, et l'autre à l'extrémité opposée du fil métallique passant devant l'embouchure du canon. Ainsi, antérieurement à l'explosion du canon, il se trouvait établi, entre le canon et le but, un circuit non interrompu de fil métallique, et dont le fil métallique en travers de la bouche du canon faisait partie. Une fois le but frappé par le boulet, le second circuit était complété ; mais durant le passage du projectile à travers l'air, et pendant ce temps seulement, les deux circuits étaient interrompus, et la durée de cette interruption était indiquée par le chronoscope.

» J'avais déjà démontré par mon télégraphe électro-magnétique que, lorsqu'ils sont convenablement disposés, les aimants peuvent être amenés à agir avec une batterie très faible, quand bien même les fils métalliques décriraient un circuit de plusieurs milles. Par conséquent, le canon, le but et le chronoscope peuvent être placés à des distances quelconques demandées les uns des autres. En raison de la grande rapidité avec laquelle l'électricité se propage, comme l'ont prouvé mes expériences publiées dans les *Philosophical Transactions* de 1834, aucune erreur sensible ne peut résulter de sa transmission successive.

» Pendant une visite que je fis à Bruxelles, au mois de septembre 1840, je décrivis cet appareil à mon ami M. Quetelet, qui en donna connaissance, le 7 octobre, à l'Académie des sciences de cette ville, communication mentionnée dans le bulletin de cette séance.

» Dans une visite que je fis postérieurement à Paris (mai 1841),

Digitized by Google

j'expliquai cet appareil et j'en montrai les dessins à plusieurs membres de l'Académie des sciences de Paris qui vinrent me voir au Collége de France, où, grâce à l'obligeance de M. Regnault, j'eus l'occasion de répéter devant eux plusieurs de mes expériences électro-magnétiques. Parmi les personnes présentes était M. Pouillet, qui me demanda l'autorisation de faire copier mes dessins, ce à quoi je consentis volontiers. J'appris de lui, en décembre dernier, que ces dessins étaient encore en sa possession.

» A mon retour en Angleterre, mon ami le capitaine Chapman (1), de l'artillerie royale, convaincu de l'utilité de cet instrument, était très désireux qu'il fût introduit dans la pratique de l'artillerie à Woolwich, et se donna beaucoup de peine pour y parvenir. Nous eûmes une entrevue à ce sujet avec feu lord Vivian, alors maître général de l'Ordnance, et, le 17 juillet 1841, j'expliquai à l'Institut de l'artillerie royale la construction de l'instrument et ses diverses applications. Vingt-deux officiers assistèrent à cette séance, dans le compte-rendu de laquelle (compte-rendu dont je possède une copie) il est dit que mon chronoscope « indiquait $\frac{1}{7300}$ de seconde, » et que mon objet était « de montrer son application aux usages pratiques de l'artillerie, » c'est-à-dire de déterminer le temps employé par un projectile à franchir les différentes sections de son parcours, ainsi que sa vitesse initiale. Dans la même séance, je montrai « un chronoscope destiné à mesurer la vitesse des éclairs, tels que ceux produit par l'ignition de la poudre. » Cet instrument, le seul que M. Bréguet m'attribue, n'avait cependant rien de commun avec les courants électriques, comme il le suppose; c'était simplement une série de roues portant sur des axes trois légers disques en papier, d'environ 1 pouce de diamètre chacun. Les temps de leurs révolutions respectives étant comme 1, 10 et 100, le disque dont le mouvement était le plus rapide faisait 200 révolutions par seconde; sur chaque disque était tracé un rayon : lorsqu'ils étaient éclairés par une étincelle électrique, tous ces rayons

(1) Depuis longtemps j'entretenais une correspondance avec le capitaine Chapman à ce sujet. Dans une de ses lettres, du 27 août 1840, après m'avoir fait part de ses vues sur la manière de conduire ses expériences, il dit : « Nous obtiendrons ainsi la vitesse des projectiles à chacune des sections de » sa trajectoire, et j'ose croire que nous arriverons à une connaissance de » l'effet de la gravitation sur le projectile, beaucoup plus satisfaisante que » tout ce qu'on a obtenu jusqu'ici. »

Digitized by Google

paraissaient en repos, en raison de la durée excessivement petite de cette espèce de lumière (comme il est expliqué dans mon mémoire : *De la vitesse de l'électricité et de la durée de la lumière électrique*, publié dans les *Philosophical Transactions* de 1834) ; mais lorsqu'ils étaient illuminés par un éclair d'une durée de la deux-centième partie d'une seconde, le troisième disque paraissait uniformément teinté, pendant que le second disque montrait un secteur ombré de 36 degrés. Quand l'éclair ne durait que la deux-millième partie d'une seconde, un secteur semblable paraissait sur le troisième disque.

» Pour plusieurs raisons, les expériences avec mon chronoscope électro-magnétique ne furent pas poursuivies à Wolwich. En 1842, je fis la connaissance de M. de Konstantinoff, capitaine dans l'artillerie de la garde impériale de sa majesté l'empereur de Russie, et attaché à l'état-major du général de Winspaer; il prit beaucoup d'intérêt à cette affaire, exprima un vif désir d'avoir un appareil complet, afin d'entreprendre lui-même, à son retour en Russie, une série d'expériences telles que celles que j'avais en vue. Comme je n'avais pas moi-même le temps de poursuivre ces expériences, et comme personne en Angleterre, plus habile ou mieux placé pour cela, ne montrait le désir de les poursuivre, je cédai volontiers à sa demande, dans l'espoir que quelques résultats importants pour la science pourraient être obtenus. La seule condition que je mis à mon consentement était que M. de Konstantinoff ne publierait aucune description de l'appareil, jusqu'au moment où moi-même je l'aurais faite. L'instrument que je fournis à M. de Konstantinoff, et qui lui fut adressé à Paris en janvier 1843, était autrement construit que celui précédemment décrit, quoique essentiellement le même en principe.

» J'avais trouvé par expérience que lorsqu'une pièce de fer doux avait été attiré par un électro-aimant, et que le courant venait ensuite à cesser, bien que le fer parût retomber immédiatement, son contact était maintenu pendant un temps qui, plusieurs fois, équivalait à une fraction considérable de seconde. La durée de cette adhérence augmentait avec l'énergie du courant voltaïque et avec la faiblesse du ressort à réactions. Pour la réduire à un minimum, il était nécessaire d'employer un courant très faible et d'augmenter la résistance du circuit jusqu'à ce que la force d'attraction de l'aimant fût réduite au point de ne surpasser que d'une faible quantité la force de réaction du ressort; mais alors l'aimant n'avait plus la force suffisante pour attirer le fer lorsque le projectile frappait

Digitized by Google

le but. Cependant je surmontai cette difficulté de la manière suivante : j'arrangeai les fils métalliques du circuit de telle sorte, qu'avant que le boulet ne fût lancé par le canon, le courant d'un seul élément de très petites dimensions et réduit au degré convenable au moyen d'un rhéostat (1) aussi interposé dans le circuit, agissait sur l'électro-aimant. Lorsque le boulet arrivait au but, six éléments, sans la résistance du rhéostat, agissaient simultanément sur l'aimant. Mais, même avec ces précautions, qui sont efficaces jusqu'à un certain degré, il y a encore du temps de perdu durant l'attraction du fer par l'aimant, aussi bien que pendant son adhérence après que le courant a cessé. La différence de ces deux erreurs rendrait des approximations telles que $\frac{1}{500}$ ou $\frac{1}{1000}$ de seconde tout-à-fait incertaines. Toutefois l'erreur provenant de cette source peut se réduire facilement à moins de $\frac{1}{60}$ ou de $\frac{1}{100}$ de seconde, et dans mon opinion, un chronoscope qui divise la seconde en 60 parties et qu'on peut prouver ne donner jamais lieu à une erreur dépassant une seule de ces divisions, est préférable à un instrument offrant des divisions plus avancées et qui donnerait lieu à des erreurs embrassant bon nombre de ces divisions. Guidé par ces expériences, je fus en mesure de construire un chronoscope très simple et très efficace. Un échappement très simple était mis en mouvement par un poids suspendu à l'extrémité d'un bout de fil enroulé dans une hélice creusée sur un cylindre fixé sur l'axe d'une roue à échappement. Sur cet axe était aussi adaptée une aiguille qui, conséquemment, avançait d'une division à chaque échappement. Quand il était nécessaire de prolonger le temps de l'expérience, la roue à échappement et le cylindre étaient établis sur des axes différents, et leur engrenage s'opérait au moyen d'une roue et d'un pignon ; dans ce cas, deux aiguilles étaient employées. Au moyen de cette construction, on évite l'accélération du mouvement qui aurait eu lieu s'il n'y avait pas eu d'échappement, et l'index franchit chaque division dans un même temps. Le poids était dis-

(1) Une explication de cet instrument se trouve dans une description de plusieurs instruments et procédés pour déterminer les constants d'un circuit voltaïque, publiée dans les *Philosophical Transactions* de 1843, deuxième partie, et traduite dans les *Annales de chimie et de physique*. Cet instrument est représenté par la figure 1 des dessins qui accompagnent ce mémoire. Nous reproduirons cette description dans la partie théorique de ces recherches.

(*Note du Rédacteur.*)

Digitized by Google

posé de manière à pouvoir se régler, et la valeur d'une seule division était obtenue en divisant le temps de la chute entière par le nombre des divisions franchies dans cet intervalle. Mais des méthodes encore plus exactes peuvent être employées.

» Au moyen de cet instrument, j'ai mesuré le temps mis par une balle de pistolet à parcourir différentes portées, avec des charges différentes de poudre. La répétition de ces expériences donna lieu à des résultats passablement constants, présentant rarement une différence de plus d'une division du chronoscope (1). Je mesurai aussi la chute d'une balle, de différentes hauteurs, et la loi des vitesses accélérées fut obtenue avec une rigueur mathématique. Avec l'appareil dont je me servis pour cette dernière expérience, je pouvais mesurer la chute d'une balle de la hauteur d'un pouce. Il serait difficile, sans le secours des dessins, de donner une idée des diverses dispositions que j'ai adoptées pour rendre l'instrument applicable à différentes séries d'expériences; mais je puis mentionner que parmi d'autres applications je me propose de l'employer pour mesurer la vitesse du son à travers l'air, l'eau et à travers les massifs de rocs, avec une approximation qu'on n'a jamais obtenue jusqu'à présent.

» Indépendamment de l'instrument que je fournis à M. de Konstantinoff en avril 1843, le professeur Christie en fit déposer un au cabinet de physique de l'Académie militaire de Woolwich, et, vers le même temps, un autre fut fait par M. R. Adam, qui s'en est constamment servi depuis dans ses cours à l'*United service Museum* et ailleurs.

» Je mentionnerai une modification de l'appareil qui est importante pour certaines séries d'expériences : au lieu de rompre la continuité du circuit et de la reconstituer ensuite comme nous l'avons dit jusqu'ici, l'électro-aimant est maintenu en équilibre au moyen de deux courants égaux et opposés: en interrompant le premier circuit, l'équilibre est détruit, et en interrompant le second, le courant occasionné par la destruction de l'équilibre cesse. Le second circuit est rompu par une balle traversant un cadre sur lequel est tendu un fil métallique très fin disposé en lignes parallèles et très serrées, et formant partie du circuit. Cette disposition fournit les moyens d'employer un chronoscope totalement différent du premier. Deux pendules, dont l'un à demi-secondes, et l'autre d'un

(1) Ces expériences, dans lesquelles je fus assisté par sir James South et M. Purday, célèbre armurier, eurent lieu, en octobre 1842, dans les terrains attenant à l'observatoire de Camden-Hill.

Digitized by Google

mouvement un peu plus accéléré, sont maintenus chacun aux extrémités de leurs arcs d'oscillation par un électro aimant. Quand la balle s'échappe du fusil, l'un des pendules est libéré, et quand il rompt le fil métallique du cadre, l'autre pendule est aussi libéré. On compte alors le nombre d'oscillations d'un des pendules jusqu'à ce que le mouvement des deux pendules coïncide, et, d'après ce fait, on détermine aisément le temps qui sépare les commencements des premières oscillations des deux pendules.

» Les instruments que je construisis réellement n'avaient d'autre objet que d'indiquer le temps écoulé entre le mouvement initial et le mouvement final d'une balle parcourant la trajectoire. M. de Konstantinoff désirait un instrument mesurant les temps correspondant aux divisions successives de la trajectoire. Bien que je pensasse alors et que je sois encore de l'avis qu'il est préférable de les déterminer au moyen de décharges successives, j'imaginai un appareil à cet effet ; mais je n'en entrepris pas la construction en raison de son prix plus élevé et de sa plus grande complexité, bien qu'il fût l'objet de fréquentes conversations entre nous. C'était afin de réaliser ces idées que M. de Konstantinoff, après son départ d'Angleterre et pendant son séjour à Paris, s'adressa subséquemment à M. Bréguet, afin de profiter de l'habileté et de l'ingéniosité bien connues de cet ingénieur. Je suis parfaitement persuadé que M. de Konstantinoff n'eut jamais l'intention de s'attribuer cette invention, et que c'est entièrement sans son approbation et à son insu que M. Bréguet vient de faire (1).

» Quant à l'instrument décrit par M. Bréguet, je le considère comme beaucoup moins exact, beaucoup plus compliqué et plus coûteux qu'aucun de ceux que j'ai précédemment inventés. Quand il est réduit uniquement à déterminer les mouvements initial et final d'une balle, l'instrument de M. Bréguet est muni de cinq électro-aimants, chacun avec son mécanisme, tandis que le mien atteint le même résultat avec un seul électro-aimant ; et lorsque les différentes divisions d'une même trajectoire doivent être étudiées, M. Bréguet propose un aimant complémentaire et fait d'autres additions à chacune des partitions que doit traverser la balle. Si

(1) « Je joins ici un extrait d'un écrit que me donna M. de Konstantinoff avant de quitter Londres :

« M. Wheatstone ayant eu la complaisance de me faire confectionner un » appareil complet, de son invention, pour mesurer la chute des corps et les » vitesses initiales des projectiles, je m'engage, etc.... »

Digitized by Google

M. Bréguet avait été mieux informé des moyens par lesquels je devais obtenir une suite de mesures successives correspondant à une même trajectoire, il aurait trouvé que ce qu'il propose d'obtenir, même avec une douzaine d'électro-aimants, le serait d'une manière plus efficace au moyen d'un seul. Voici quel était mon plan :

» Un cylindre exécute un mouvement de rotation autour d'une vis, de façon à avancer d'un quart de pouce par révolution ; à une des extrémités du cylindre est adaptée une roue dentée d'un diamètre un peu plus grand que celui du cylindre et qui s'engrène avec un pignon dont la longueur est égale à la portion totale d'axe que doit franchir le cylindre dans ses révolutions successives. Ce pignon communique avec des rouages mis en mouvement par un poids suspendu à l'extrémité d'un fil qui tourne autour d'un cylindre, et le rouage est muni d'un régulateur qui en égalise le mouvement ; un crayon adapté à l'extrémité d'un petit électro-aimant est amené en contact avec le cylindre et y trace une hélice qui est interrompue chaque fois que le courant cesse. J'empruntai l'idée de la partie chronoscopique de cet appareil d'un instrument destiné à mesurer de très petits intervalles de temps, inventé par feu le docteur Young, et qui est décrit et dessiné dans son *Cours de philosophie naturelle*. On comprend aisément, d'après ce que j'ai rapporté, de quelle manière le commencement et la fin d'un mouvement d'un projectile sont indiqués par cet instrument. Les périodes intermédiaires sont enregistrées de la manière suivante : aux points voulus sur la ligne de passage du projectile, on établit des cadres fermés par des réseaux en fil métallique ; le projectile rompt les fils métalliques en traversant les cadres ; on emploie autant de batteries voltaïques qu'il y a de paires de cadres dont les fils métalliques communiquent avec les pôles de ces batteries électriques, et avec le fil métallique de l'électro-aimant, de telle façon que le courant électrique traverse l'hélice en fil métallique de l'électro-aimant, ou cesse de la parcourir suivant que l'équilibre est alternativement détruit ou rétabli par la rupture successive des fils métalliques des cadres. Pour obtenir ce résultat, il est nécessaire que la résistance des différents fils métalliques soit convenablement proportionnée.

» Pour conclure, j'ajouterai que l'application de mon télégraphe électro-magnétique, en vue d'enregistrer à distance le nombre des révolutions d'une machine et de tous autres mouvements périodiques, a été exécuté par moi, sous des formes très variées, depuis plusieurs années. Un appareil pour cet objet, enregistrant jusqu'à dix milles, se voit dans le cabinet de physique de King's-College

Digitized by Google

depuis 1840, et fut montré à M. de Konstantinoff pendant son séjour à Londres. »

M. Bréguet se tint offensé de la note de M. Wheatstone, et réclama en ces termes dans la séance du 9 juin 1845.

Réponse de M. Bréguet.

« La réclamation de M. Wheatstone, insérée dans l'avant-dernier *Compte-rendu*, a encore plus excité mon étonnement qu'elle ne m'a blessé. Il n'y avait vraiment motif ni prétexte pour m'attribuer un rôle quelconque dans une affaire à laquelle je dois rester complétement étranger. Je viens de parler de prétexte; car je ne saurais admettre, quoique cette opinion soit assez répandue, que l'illustre savant anglais, avec lequel je n'ai eu jusqu'ici que de bons rapports, ait changé de sentiments à mon égard, depuis que j'ai eu l'honneur de prendre part aux travaux de la commission qui a présidé à l'établissement et au succès du télépraphe électrique dans notre pays.

» Que se passa-t-il, en effet, entre M. de Konstantinoff et moi? Je l'ai dit dans ma lettre à l'Académie. Cet officier russe, arrivant d'Angleterre, avait pensé à un instrument destiné à mesurer la vitesse des projectiles dans différents points de la trajectoire; M. de Konstantinoff m'apprit qu'il avait parlé de ce problème à M. Wheatstone, circonstance que je n'ai pas tenue cachée. Mon intervention dans la construction de la machine a consisté dans l'application des moyens physiques et mécaniques dépendants de l'art que je cultive, et sur lesquels M. Wheatstone n'avait certainement rien publié. Au surplus, toute discussion à cet égard serait aujourd'hui superflue, puisque le physicien anglais critique mes procédés, et en propose d'autres qu'il croit être meilleurs; je me permettrai de ne pas être de son avis : les expériences de Saint-Pétersbourg, dont j'attends les résultats, décideront beaucoup mieux que des critiques vagues ne pourraient le faire, si j'ai méconnu les difficultés du problème. Pour le moment, je me borne à une seule réflexion, elle mettra l'Académie en mesure de prononcer un jugement éclairé sur ce fâcheux accident.

» M. Wheatstone était à Paris en décembre 1844; un jour qu'il me fit l'honneur de venir dîner chez moi, je lui montrai en présence de M. Regnault, qui certainement se le rappellera, le dessin détaillé de la machine de M. de Konstantinoff; cette communication loyale ne fut de la part de M. Wheatstone l'objet d'aucune observation. »

Digitized by Google

Que faut-il conclure de cette note quelque peu sèche? Que la priorité d'invention du chronoscope appartient réellement à M. de Konstantinoff; que M. Wheatstone, par le silence qu'il garda dans la circonstance que rappelle M. Bréguet, aurait hautement reconnu les droits de son concurrent? Raisonner ainsi ce serait évidemment déraisonner. Interrogé sur ce point, M. Wheatstone a naïvement répondu que les dessins lui furent en effet présentés, mais qu'ils étaient trop compliqués pour qu'il songeât même à s'en rendre compte et à les critiquer au moment de se mettre à table, ou en sortant de table; il ajourna donc son jugement, et il ne lui vint pas en pensée que son silence, si facile à expliquer, serait un jour interprété contre lui. Il ajouta que cette interprétation l'étonne d'autant plus que, dans un entretien qu'il eut avec M. Bréguet, à l'hôtel Meurice, postérieurement au dîner dont il est ici question, il lui fit toutes les observations critiques renfermées dans la note présentée à l'Académie. M. Bréguet, à son tour, se souvient-il de cette entrevue?

La note suivante est devenue une nouvelle phase de cette discussion.

Remarques sur le mémoire de M. Pouillet, par M. JACOBI.

« Un article du *Compte-rendu*, tome XIX, p. 1384, me donne lieu à une réclamation que je vous prie d'adresser à l'Académie. Cette réclamation a trait au moyen qu'a indiqué M. Pouillet pour connaître l'effet qu'exerce sur l'aiguille aimantée un courant galvanique de très petite durée. Dans la séance de l'Académie impériale de Saint-Pétersbourg du 31 janvier 1838 (voir *Bulletin scientifique*, t. III, p. 333), M. le secrétaire perpétuel présenta à l'Académie une lettre que je lui avais adressée et dans laquelle j'avais décrit mes expériences, faites à Dorpat en 1836 ou 1837, pour connaître la limite de la vitesse avec laquelle l'électricité se développe dans les conducteurs. Le moyen dont je m'étais servi alors pour obtenir un courant dont la durée ne fût que de $\frac{1}{9000}$ de seconde était le même, à quelques différences de construction près, que celui que M. Pouillet a employé récemment. N'ayant pas eu alors à ma disposition un galvanomètre assez sensible, et ayant calculé qu'un courant faible et de petite durée pourrait bien traverser le fil conducteur sans que le mouvement imprimé à l'aiguille fût appréciable, je me suis contenté de l'apparition de l'étincelle pour constater l'existence du courant. Le résultat de mes expériences fut que

Digitized by Google

la vitesse de l'électricité voltaïque n'est pas moindre de 1,260,000 pieds par seconde. Néanmoins, la limite de cette vitesse n'a pas encore été atteinte par mes expériences.

» Il y a environ deux ans que je me suis servi, pour des essais télégraphiques, d'un appareil de construction particulière, que j'appelle télégraphe acoustique à cause du son continu qui s'y produit par des courants interrompus jusqu'à cent cinquante et deux cents fois par seconde. Ce télégraphe, transmettant ce son à une distance de 25 kilomètres ou à travers un circuit d'à peu près 50 kilomètres (50 verstes), on peut conclure, conformément aux vues adoptées généralement, que la vitesse de l'électricité n'est pas moins de 7,500 ou 10,000 kilomètres par seconde, ou, si l'on veut, de 20,000 kilomètres, vu que le courant se forme et disparaît deux cents fois par seconde, comme je l'ai annoncé dans un discours public tenu au commencement de l'année dernière et imprimé dans le *Recueil des actes de l'Académie*. Ce dernier mode d'expérimentation pourra servir en même temps pour décider cette question. La limite de la vitesse dépend-elle de la longueur absolue du conducteur ou seulement de sa résistance?

» Pour éviter tout malentendu, j'ajoute que ma réclamation ne se rapporte aucunement à l'application que M. Pouillet propose de faire du galvanomètre, considéré comme pendule balistique, pour mesurer des intervalles de temps extrêmement courts, etc. Je ne puis m'empêcher de faire remarquer que cette proposition, quelque spirituelle qu'elle soit, ne pourra pas lutter avantageusement avec l'ingénieux appareil électro-balistique de notre savant officier d'artillerie, M. de Konstantinoff. »

En communiquant cette réclamation à l'Académie, M. Arago fit remarquer que la dernière phrase de la lettre de M. Jacobi confirmait parfaitement ce que M. Bréguet avait dit de ses rapports avec M. le capitaine de Konstantinoff. Toute discussion de priorité sur l'idée première de l'appareil destiné à mesurer la vitesse des projectiles ne pourra donc plus, disait l'illustre secrétaire perpétuel, avoir lieu désormais qu'entre M. le capitaine russe et M. Wheatstone.

Arrivée à ce point, la question est, il me semble, facilement décidée; car d'abord le passage de la communication faite par M. Quételet à l'Académie de Bruxelles, le 17 octobre 1840, quatre ans avant que M. de Konstantinoff parût sur l'horizon : « L'auteur (M. Wheatstone compte aussi employer ses procédés pour mesurer avec une précision qu'il croit pouvoir porter à un centième de seconde la vitesse des projectiles) assure pleinement à M. Wheat-

Digitized by Google

stone, quant à l'idée du moins, la priorité d'invention du chronoscope. En second lieu, les détails si circonstanciés dans lesquels est entré M. Wheatstone, la livraison même d'un appareil, prouvent jusqu'à l'évidence, il me semble, que l'initiative de la construction et des expériences appartiennent non moins certainement au professeur de King's-College. Une seule question reste encore indécise : des instruments imaginés et construits par MM. Wheatstone et de Konstantinoff, quel est le plus parfait? Nous l'examinerons dans la partie descriptive de ce mémoire, si nous parvenons à nous procurer les dessins qui ont servi à leur construction. Nous avons entendu dire à plusieurs personnes que le mécanisme décrit par M. Wheatstone pèche contre certaines règles essentielles de l'art.

Arrivons enfin à la partie théorique de ce mémoire.

PARTIE THÉORIQUE.

La théorie du télégraphe électrique comprend trois grandes questions qui feront l'objet d'autant de sections séparées. Il fallait d'abord constater que la vitesse de propagation du fluide électrique est assez grande pour que ce moyen de communication puisse produire les résultats étonnants qu'on en attend. Il fallait, en second lieu, étudier les rapports qui, dans la transmission des courants électriques, lient la puissance à la résistance, pour arriver à déterminer avec certitude sous quelles conditions une pile donnée ou un appareil électro-magnétique réalisera à distance les effets d'aimantation nécessaires à la production des signaux. Il fallait enfin reconnaître que la terre ou le sol humide fait à un assez haut degré l'office de conducteur d'électricité, ou de réservoir soutirant pour dispenser de l'emploi d'un second fil. Ces trois grandes questions sont aujourd'hui pleinement résolues, et leur solution est due surtout aux recherches si originales et si patientes de M. Wheatstone. Nous reproduisons avec bonheur les mémoires qu'il a publiés à ce sujet.

Digitized by Google

PREMIÈRE SECTION.

Vitesse de propagation de l'électricité.

Expériences anciennes.

Otto de Guericke, Gray et Vheeler s'aperçurent les premiers que l'électricité se propageait avec une très grande vitesse. Tout le monde connait les célèbres expériences de Le Monnier et de l'abbé Nollet, qui, en présence de la cour de France, firent passer la décharge d'une bouteille électrique dans une chaîne formée, une fois entre autres, de plus de six cents personnes: toutes reçurent la commotion au même instant indivisible.

Le 14 et le 18 juillet 1747, Walton, aidé de plusieurs savants anglais, s'assura que la décharge électrique parcourait sans peine un fil métallique disposé le long du pont de Wetsminster et revenait à travers la masse de l'eau de la Tamise. Il constata, le 14 août de la même année, qu'un circuit formé de deux milles de fil de fer et deux milles de terre humide était franchi avec facilité par l'électricité dans un temps inappréciable, insaisissable.

Voilà tout ce qu'on savait sur ce sujet si important quand M. Wheatstone lut à la Société royale de Londres, en 1834, un mémoire dans lequel il décrivait de nouveaux procédés d'expérimentation, et donnait pour la première fois des mesures précises de la durée de l'étincelle électrique et de la vitesse de propagation de l'électricité. Ce mémoire a été traduit pour la première fois par M. Elie Wartman; nous reproduirons avec quelques changements sa traduction qui a été insérée dans les *Archives de l'électricité*. Mais, pour la faire mieux comprendre, nous la ferons précéder du si admirable article par lequel M. Arago à su rendre si accessibles, dans l'*Annuaire de* 1828, les principaux résultats du travail de M. Wheatstone.

Sur la durée d'un éclair de première ou de seconde classe, par M. Arago.

Cette question a plus d'importance qu'on ne l'imaginerait au premier coup d'œil; sa solution toute récente repose sur des considérations assez délicates. Elles sont du reste empruntées en partie à un jeu d'enfant, je veux dire à cette expérience que chacun a faite

et a vu faire, et qui consiste à produire un *ruban continu de lumière* par le mouvement rapide d'un petit charbon enflammé.

Supposons que le charbon décrive une circonférence de cercle et qu'il emploie à faire le tour entier un dixième de seconde seulement. Alors, l'expérience l'a montré, on voit une circonférence de lumière, dans laquelle l'œil le plus attentif ne voit aucune lacune, aucune solution de continuité. On dirait que le charbon occupe simultanément tous les points de la courbe, et ces points cependant il les atteint dans sa marche l'un après l'autre, et il s'écoule un dixième de seconde entre le moment où il quitte l'un d'eux, et le moment où il y revient.

Une conséquence importante découle de cette expérience. Elle deviendra évidente si, pour un instant, on veut bien concentrer son attention sur un seul point : sur le point le plus élevé, par exemple, de la circonférence de cercle que le charbon parcourt.

Quand le charbon enflammé occupe ce point le plus élevé, les rayons de lumière qui en émanent forment son image, dans l'œil de l'observateur, sur une certaine partie de la rétine. Dès que le charbon tourne, cette image doit également tourner ; et cela arrive en effet, puisque le charbon se voit toujours dans sa véritable position. La première image semblerait devoir s'évanouir en même temps, la cause qui l'engendrait ayant, sinon disparu, du moins changé de lieu : loin de là, le charbon a le temps de faire un tour entier, de revenir à sa première place, de reproduire dans l'œil l'image du point le plus élevé de la courbe, avant que la sensation résultant de son premier passage par le même point se soit effacée.

Les impressions que nous recevons par la vue ont donc une certaine durée. L'œil humain, du moins, est constitué de manière qu'*une sensation lumineuse ne s'évanouit qu'un dixième de seconde après la disparition complète de la cause qui l'a produite.*

Nous venons de reconnaître qu'un point rayonnant qui n'emploie qu'un dixième de seconde à faire un tour entier donne naissance, pour notre œil, à une circonférence de cercle qui est lumineuse dans tout son contour. Il est évident que si deux, trois, dix, cent points rayonnants placés en ligne droite, les uns à la suite des autres, entre le premier point et le centre de *rotation*, tournent simultanément avec la même vitesse, ils donneront naissance à deux, à trois, à dix, à cent circonférences de cercle lumineuses et concentriques. Enfin, chacun comprendra que si ces divers points rayonnants mobiles sont continus, que s'ils se touchent, que s'ils sont assez nombreux pour former, dans l'état de repos, une ligne de lu-

Digitized by Google

mière continue entre le premier point et le centre de rotation, les circonférences qu'ils engendreront en tournant se toucheront aussi, et qu'aux deux, trois, dix, cent circonférences de cercle séparées de la précédente expérience, succédera une *surface circulaire entièrement éclairée.*

Il en est, comme on voit, de cette expérience comme de celle que nous faisions avec des points isolés. Une *ligne* lumineuse qui tourne autour d'une de ses extrémités engendre une surface de lumière *circulaire*, quand elle revient à chacune de ses positions successives avant que se soit effacée chacune des images qu'elle avait produites dans l'œil pendant une première révolution, c'est-à-dire quand la ligne décrit la circonférence entière en un *dixième* de seconde.

Au lieu d'une seule ligne lumineuse mobile, supposons maintenant qu'il y en ait quatre, toutes semblables quant à l'intensité, placées rectangulairement entre elles, ou de manière qu'elles partagent la circonférence en quatre parties égales. La vitesse de rotation de l'appareil n'aura plus besoin d'être d'un tour complet par *dixième* de seconde; une vitesse *quatre fois moindre*, une vitesse d'un tour par *quatre dixièmes de seconde* suffira à la production d'une surface circulaire qui semblera de même entièrement lumineuse.

Que faut-il, en effet, pour cette continuité d'éclat? Il faut qu'aucun point du cercle ne soit privé de *lumière réelle* pendant plus de 1/10 de seconde. Eh bien! arrêtons-nous par la pensée au moment où une des quatre lignes lumineuses est verticale. La ligne qui la suit deviendra verticale à son tour dans le quart du temps que consomme une révolution complète dans le quart de 4/10 ou dans 1/10 de seconde. La troisième ligne rotative succédera de même à la seconde, dans la verticale, après 1/10 de seconde, etc., etc. Ainsi, lorsque, dans l'œil, l'*image* verticale de la première ligne allait s'évanouir, la seconde des quatre lignes lumineuses rectangulaires de l'appareil rotatif vient la renouveler; lorsque l'image verticale de cette seconde ligne atteint le terme de sa durée, la troisième ligne en occupe la place; la quatrième ligne, à son tour, se trouve dans la verticale au moment où la troisième ligne allait s'effacer. La première ligne, enfin, va, à point nommé, reprendre la position où d'abord nous l'avions supposée, pour remplir de sa lumière la verticale que la disparition de l'image de la quatrième ligne aurait laissée obscure.

Je viens de montrer en détail, avec trop de détails peut-être,

Digitized by Google

comment quatre lignes lumineuses, placées rectangulairement et décrivant un cercle autour de leur point d'intersection en 4/10 de seconde, éclairent d'une lumière en apparence continue le rayon vertical de ce cercle. Tout le monde remarquera que les mêmes raisonnements se seraient appliqués à un rayon horizontal ou à un rayon incliné; le mode de production des surfaces lumineuses, par la rotation de lignes simples, est donc suffisamment expliqué.

En résumé :

Une ligne *lumineuse* engendre, en apparence, une surface circulaire de lumière, *quand elle tourne assez vite autour d'une de ses extrémités pour décrire la circonférence entière en un dixième de seconde de temps.*

Ceci est un point de fait, lié à la conformation, à la sensibilité de l'œil humain. Les choses sont ainsi, mais elles auraient pu être autrement. L'expérience seule devait faire connaître la vérité.

La vérité expérimentale une fois établie, un *dixième* de seconde étant, dans la rotation d'une ligne, la moindre vitesse indispensable à la production d'une aire circulaire de lumière continue, il en résulte nécessairement, mathématiquement, que les moindres vitesses de rotation avec lesquelles dix, cent, deux cents lignes également espacées entre elles produiront le même effet en tournant autour de leur commune intersection, seront dix, cent, deux cents fois moindres que dans le cas d'une ligne unique, c'est-à-dire qu'elles correspondront à une seconde, à dix ou à vingt secondes par tour entier.

Rien, dans tous nos raisonnements, n'implique que les lignes rotatives brillent d'une lumière propre. On doit donc s'attendre à observer des phénomènes identiques, soit qu'on fasse tourner des lignes lumineuses par elles-mêmes ou des lignes lumineuses par réflexion ; il faut seulement, dans ce dernier cas, que les lignes soient d'une telle nature, d'une telle forme, et tellement disposées relativement à la lumière éclairante, que l'œil puisse les apercevoir *également* dans toutes les positions qu'elles prennent en tournant. Tels seraient, par exemple, les *rais plats et non polis* d'une roue en argent mat; les *rais plats et non polis* d'une roue de quelque nature qu'elle fût, couverts d'une couche de blanc de céruse, etc., les uns et les autres éclairés de face par un réverbère, par une lampe à double courant d'air, ou même par une simple bougie. Les rais n'étant pas polis, ne feraient pas l'office de miroirs dans aucune de leurs positions. On les verrait seulement par cette sorte de lumière que les corps éclairés s'assimilent pour nous la restituer *dans tous*

Digitized by Google

les sens, ou à l'état de lumière diffuse : le vermillon avec une teinte prononcée, le laiton avec une nuance jaune évidente, l'argent mat et le blanc de céruse avec une blancheur parfaite, etc. Un rais d'argent mat tournant autour de ses extrémités en un dixième de seconde, engendrera une surface circulaire blanche; quatre, dix, cent rais de la même matière également espacés, produiront le même effet, s'ils tournent respectivement en quatre dixièmes de seconde, en *une* seconde, en dix secondes.

Tenons-nous un moment à ce dernier cas, à celui où cent rais minces de métal, formant entre eux des angles égaux, donnent naissance, pour l'œil, à une surface de lumière circulaire. Cet effet commence à se manifester quand la vitesse de rotation est d'un tour par dix secondes. Une vitesse moindre ne suffirait pas : mais toute vitesse plus grande, quelle que grande qu'elle fût, conduirait mieux encore, s'il est possible, au même résultat.

Dans le nombre infini de vitesses plus grandes que celle qui est strictement nécessaire pour que les rais tournants paraissent être une surface continue, faisons un choix afin de fixer nos idées ; supposons que nos cent rais fassent un tour entier en un dixième de seconde, ce qui est une vitesse très facile à obtenir. Chaque rais emploiera alors le centième de cette quantité, ou $\frac{1}{1000}$ de seconde pour aller d'une quelconque de ces positions à celle qu'occupe au même moment le rais précédent.

Retenons bien ce nombre (*un millième de seconde*) et introduisons dans notre expérience une dernière condition. Supposons que la lumière qui éclaire les cent rais de la roue tournante, que la lumière sans la présence de laquelle ces rais ne se verraient pas, puisqu'il ne sont point lumineux par eux-mêmes, ne brille pas d'une manière continue. Admettons que tournant toujours uniformément dans l'obscurité avec la vitesse convenue d'un tour à chaque dixième de seconde, la roue soit éclairée par une lumière qui ne se montre qu'un instant. Eh bien! c'est la longueur de cet instant, c'est la durée de l'apparition de la lumière éclairante, qui déterminera si la roue éclairée apparaîtra sous la forme d'une roue véritable ayant du centre à sa circonférence des pleins et des vides, des secteurs brillants et des secteurs obscurs, ou sous la forme d'une surface continue également lumineuse partout.

Mettons d'abord que la lumière ne frappe la roue tournante qu'un instant *infiniment court*. Cette lumière ne saisira, n'éclairera les divers rais que *dans une seule de leurs positions*. Chaque rais,

Digitized by Google

sur cette position unique et spéciale, produira dans l'œil une image dont nous avons expérimentalement fixé la durée à un *dixième de seconde*. La roue tournante sera donc aperçue pendant un dixième de seconde, sous sa véritable forme et comme si elle était immobile.

Passons à une autre supposition que j'appellerai extrême (cette expression sera bientôt justifiée). Admettons que la lumière éclairante *ait duré un millième* de seconde.

Un *millième* de seconde est, par hypothèse, le temps que chaque rais emploie à passer d'une de ses positions à celle qu'occupe *au même moment* le rais qui le précède. Dans ce court intervalle de temps, il n'y aura donc pas à l'intérieur de la roue tournante une seule *ligne idéale* allant du centre à la circonférence; il n'y aura pas *un seul rayon* (c'est le terme géométrique) qui, chacun à son tour, ne soit occupé par l'un ou par l'autre des rais matériels; il n'y aura pas une de ces mille et mille positions, où les rais ne reçoivent l'action de la lumière éclairante, où ils ne doivent aller former une image dans l'œil. Ces images, qu'on se le rappelle bien, durent un dixième de seconde, c'est-à-dire cent fois plus qu'il n'en faut pour que *tous les rayons géométriques* de la roue aient lancé une ligne lumineuse à l'observateur. Ainsi, dans un certain moment, toutes les lignes lumineuses en question se verront simultanément; ainsi, la roue, quoiqu'elle se compose de vide et de plein, paraîtra une surface continue, éclairée sur tous ses points.

Si maintenant on essayait d'appliquer les mêmes considérations au cas où la durée de la lumière serait moindre que le temps dont chaque rais a besoin pour se transporter, en tournant autour du centre de la roue, d'une de ses positions à celle qu'occupe au même moment le rais qui le précède, chacun verrait sans difficulté combien les résultats de l'expérience devraient être différents. Mettons, par exemple, que la durée de l'apparition de la lumière ne s'élève qu'à la moitié de la précédente, qu'elle ne soit que *d'un demi-millième* de seconde.

En un demi-millième de seconde, chaque rais matériel parcourt seulement la moitié de l'intervalle angulaire compris entre une de ses positions et la position simultanée du rais qui le précède. Quand la lumière se montre, chaque rais mobile est saisi, est éclairé dans une de ses positions; quand elle disparaît, chaque rais n'est encore parvenu qu'à la moitié de la course qu'il avait à parcourir pour atteindre la position du rais précédent. A l'instant *mathématique* du surgissement de la lumière, tous les rais comprenaient entre eux

Digitized by Google

certains secteurs. Eh bien! il y a précisément *la moitié* de chacun de ces secteurs dans laquelle aucun rais n'a pénétré pendant la durée que nous venons d'assigner à l'apparition de la lumière. Tous ces espaces vides de matière n'ont pu réfléchir vers l'observateur aucun rayon de la lumière éclairante, conséquemment la roue a dû paraître composée de la réunion d'une série de secteurs alternativement obscurs et lumineux.

Ceux qui n'ignoraient pas que la sensation engendrée dans l'œil par l'action d'une lumière quelconque dure encore un peu de temps après que la lumière a réellement disparu, devaient, ne fût-ce qu'à raison de cette circonstance, ne pas trop espérer une solution exacte de la question posée en tête de ce long chapitre; et cependant, en définitive, l'obstacle apparent est devenu lui-même le moyen d'investigations, et nous sommes arrivé à opérer sur de simples *millièmes* de seconde, mieux qu'on ne pourrait vraiment le faire, par les moyens habituels, sur les secondes entières. Qu'on réfléchisse un moment aux détails de l'expérience, et mon assertion ne paraîtra pas exagérée.

Je veux savoir la durée de chacun des éclairs qui sillonnent le ciel pendant une nuit obscure. En face de la région où existe l'orage, j'établis une roue en métal portant cent rais déliés. Un mouvement d'horlogerie lui donne la vitesse continue et régulière de dix tours par seconde de temps, ou d'un tour entier par dixième de seconde. Je me place en observation entre la roue et les nuées orageuses, de manière cependant à ne pas empêcher la lumière des éclairs d'arriver librement à la roue tournante. Cette roue, je ne l'aperçois pas ordinairement, puisque, par hypothèse, tout est dans l'obscurité. Un éclair se montre : à cet instant la roue est éclairée, je dois donc la voir, et je la vois, en effet, mais dans des conditions différentes, suivant la durée de l'éclair. L'éclair n'a-t-il brillé que pendant un temps *infiniment court*, la roue se sera montrée, durant un dixième de seconde, comme *cent rais lumineux*, immobiles et de la largeur apparente des rais véritables.

L'éclair a-t-il duré un *millième* de seconde, la roue aura semblé *un cercle plein de lumière du centre à la circonférence.*

A des durées de l'éclair d'un *demi-millième* de seconde, d'un tiers, *d'un quart*, *d'un cinquième*, etc., *de millième* de seconde, correspondront des apparences circulaires où il y aura respectivement *un demi*, *deux tiers*, *trois quarts*, *quatre cinquièmes de la surface totale du cercle*, complétement privés de lumière.

En faisant la roue tournante de plus en plus grande, l'échelle

Digitized by Google

superficielle des mesures deviendra tout aussi étendue, tout aussi appréciable qu'on le désirera. Ajoutons qu'en variant la vitesse de rotation, on peut même se soustraire à la nécessité d'*évaluer à l'œil* le rapport de la partie éclairée à la partie obscure, qu'on peut tout réduire à la détermination de la vitesse sous laquelle le cercle paraît entièrement éclairé. Une vitesse de la roue d'un dixième de seconde par tour ne donne-t-elle pas lieu à un cercle *continu* de lumière? On augmente graduellement cette vitesse, de manière enfin que le cercle continu apparaisse. Si cet effet ne commence à se réaliser qu'au moment où la vitesse de la roue est d'un tour par *un demi* ou par *un tiers de dixième de seconde*, ce sera la preuve que l'éclair n'aura eu qu'une durée d'une *demi* ou d'un *tiers de millième de seconde*, et ainsi de même pour tous les autres nombres qu'on pourrait trouver.

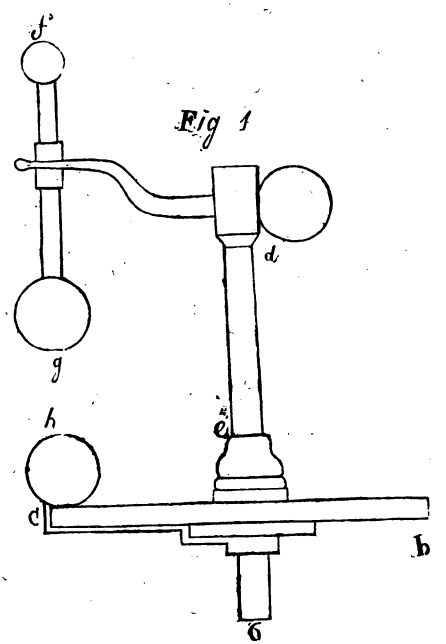
Parvenu au terme de cette longue et minutieuse explication, disons qu'après avoir multiplié autant que possible les raies de la roue, qu'après avoir eu recours aux plus grandes vitesses qu'on puisse déduire avec sûreté et uniformité de l'emploi des engrenages, la roue tournante présentée, dans des temps d'orage, aux éclairs de la première ou de la seconde classe, n'a jamais paru une surface continue; que ses rais se voyaient aussi nettement, aussi distinctement que si la roue était en repos; qu'ils ne paraissaient aucunement élargis. Nous resterons fort en deçà de la conséquence que cette expérience autoriserait, en nous bornant à dire que les éclairs les plus brillants, les plus étendus de la première et de la seconde classe, même ceux qui paraissent développer leurs feux sur toute l'étendue de l'horizon visible, n'ont pas une durée égale *à la millième partie d'une seconde de temps!*

Expériences destinées à mesurer la vitesse de l'électricité et la durée de la lumière électrique, par M. Wheatstone.

Le passage rapide d'un point lumineux par lui-même ou par réflexion paraît être, comme on sait, une ligne continue, à cause de la durée de la sensation visuelle. Il n'y a cependant rien, dans une pareille ligne, qui puisse permettre à l'œil de déterminer la direction ou la vitesse du mouvement qui l'a produite. J'ai pensé, depuis quelques années, que si le mouvement dont la ligne est animée était composé avec un autre connu de direction et de vitesse, il serait facile de déterminer par l'inspection de la ligne droite ou

Digitized by Google

courbe résultante, la vitesse et la direction du premier. En suivant cette idée, je fis une série d'expériences relatives au mouvement oscillatoire des corps sonores; mais elles sont trop nombreuses et trop peu liées à l'objet de la présente communication pour être détaillées ici. Les résultats satisfaisants que j'obtins me portèrent à rechercher si un procédé semblable ne pourrait rien nous apprendre touchant la direction et la vitesse de l'étincelle électrique. La méthode que je comptais employer fut indiquée dans une leçon faite par le docteur Faraday, en juin 1830, à l'Institution royale. Mon attention fut de nouveau attirée sur ce sujet au commencement de l'année dernière, et voici par quel procédé j'essayai d'atteindre le but que j'avais en vue.



La figure 1 représente l'appareil employé; il était vissé en *a* au pivot d'une machine à rotation, de manière à pouvoir prendre un mouvement révolutif rapide. Les parties supérieures et inférieures, toutes formées de laiton, excepté le disque en bois *bc*, étaient isolées les unes des autres par une forte colonne en verre *de*. Un morceau

Digitized by Google

de feuille d'étain réunissait la boule h avec a, et la boule supérieure g pouvait s'ajuster à diverses distances de l'inférieure h. Lorsque la boule f était placée à une petite distance du conducteur d'une machine électrique, une étincelle franchissait l'intervalle et passait ainsi entre les boules g et h, qu'on pouvait éloigner de 4 pouces l'une de l'autre. Il est évident que si le mouvement angulaire des boules avait un rapport quelconque appréciable avec la vitesse de propagation de l'électricité, il devait y avoir une déviation entre les extrémités supérieures et inférieures de la ligne. L'instrument se mouvant de gauche à droite, si l'étincelle allait de haut en bas, la

Fig. 2.

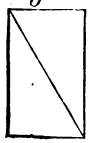
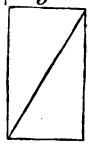


Fig. 3



déviation de la ligne devait être comme dans la fig. 2, et si elle allait de bas en haut, comme dans la figure 3.

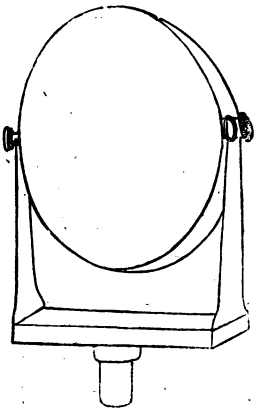
Lorsqu'on fit tourner rapidement l'appareil, les étincelles passèrent exactement comme s'il eût été en repos, et on n'observa aucune déviation de l'une quelconque des deux étincelles à partir de la même verticale. L'appareil faisait cinquante tours par seconde; et comme on aurait pu facilement apprécier une différence de $\frac{1}{20}$ de la circonférence décrite par les boules, si elle eût existé, on peut en conclure avec certitude que l'étincelle passait à travers l'air et les conducteurs métalliques en moins de $\frac{1}{1000}$ de seconde.

II. N'ayant pas réussi à observer une déviation de l'étincelle par les moyens précédents, je jugeai nécessaire de continuer mes recherches à l'aide de procédés plus efficaces. Il me parut que le mouvement de l'image d'une étincelle électrique réfléchie sur un miroir plan atteindrait aussi bien mon but que le mouvement de l'appareil lui-même par lequel l'étincelle devait passer. D'autres avantages résultaient évidemment de cette substitution, puisque le mouvement apparent de l'image réfléchie par un petit miroir mobile devient égal à un mouvement considérable lui-même, et que le même miroir peut être présenté à l'objet quelconque qu'on veut

Digitized by Google

examiner, et forme ainsi avec sa machine motrice un instrument indépendant et universellement applicable. Ainsi deviennent possibles différentes expériences qui l'auraient été difficilement, ou même qui n'auraient pu avoir lieu, à cause des dimensions ou de l'immobilité de l'appareil.

Fig 4



La figure 4 représente la meilleure forme à donner au miroir mouvant. Il tourne sur un axe vertical et prend successivement toutes les positions azimutales. En plaçant devant lui, à une distance quelconque, un point lumineux tel que la flamme d'une chandelle, les positions successives de l'image réfléchie décriront un cercle dont le rayon sera égal à la plus courte distance entre le point lumineux et l'axe de rotation. L'image, ayant une vitesse angulaire double de celle du miroir, se mouvra d'un cercle entier pendant une demi-révolution de celui-ci, et si le dos du miroir est aussi une surface réfléchissante, l'image décrira deux cercles entiers pendant une révolution du miroir.

Si la rapidité du mouvement dépasse une certaine limite, les impressions faites sur la rétine par les images successives se conserveront, et l'œil placé d'une manière convenable verra une ligne lumineuse parfaitement continue, qui sera un arc du cercle décrit d'autant plus étendu que l'œil sera plus rapproché du miroir.

Si maintenant, tandis que le miroir est en mouvement, on déplace le point lumineux parallèlement à l'axe de rotation, la composition des deux mouvements de l'image (provenant l'un du mou

Digitized by Google

vement de l'objet, l'autre de celui du miroir) donnera naissance à une résultante diagonale ; et si on connaît le nombre de tours faits par le miroir dans un temps donné, on en pourra déduire la direction et la vitesse du mouvement du point.

En vissant l'axe du miroir sur une machine à engrenage, j'ai été capable de lui faire faire cinquante tours par seconde. Par conséquent, l'image réfléchie d'un point lumineux parcourait un demi-degré dans $\frac{1}{72000}$ de seconde, la vitesse angulaire de l'image étant, comme nous l'avons remarqué, double de celle du miroir. Or, l'œil peut facilement estimer un arc d'un demi-degré ; il vaut à peu près un pouce à la distance de dix pieds. En supposant que telle soit la limite de l'observation distincte (bien qu'on pût peut-être distinguer à l'œil nu un arc beaucoup plus petit), on peut espérer que lorsqu'une ligne de lumière électrique sera placée parallèlement à l'axe du miroir, il sera possible de déterminer : 1° la durée de la lumière en chaque point où elle paraît ; 2° le temps qui s'écoule entre l'apparition de la lumière dans deux points successifs de son parcours, pourvu que ce temps, dans chaque cas, ne soit pas moindre de $\frac{1}{72000}$ de seconde.

Le premier résultat sera indiqué par l'élongation horizontale de l'image réfléchie, et le second par la distance entre deux lignes menées, à partir des images, perpendiculairement au plan horizontal. Si la durée et la vitesse étaient l'une et l'autre rendues sensibles par le miroir, l'image réfléchie apparaîtrait comme une bande courbe de lumière.

Je présentai successivement au miroir des étincelles de 4 pouces, tirées du conducteur principal d'une puissante machine électrique ; les explosions d'une batterie chargée, un tube de verre de 4 pieds de long, présentant une spirale d'étincelles électriques passant par des pointes de feuille d'étain ; un tube de verre vidé d'air, de 6 pieds de long, à travers lequel l'étincelle passait et produisait une ligne non interrompue de faible lumière électrique ; diverses figures, telles que des oiseaux, des étoiles, etc., formées d'étincelles électriques. Mais, dans tous les cas, lorsque les images réfléchies passaient dans le champ de vision, leurs formes étaient exactement les mêmes que si elles eussent été réfléchies par le miroir en repos.

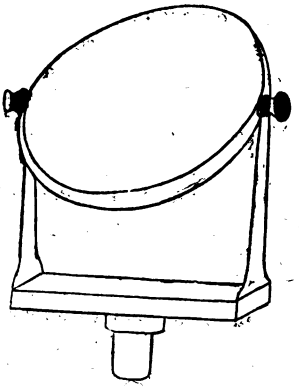
Lorsque les étincelles se succédaient rapidement, diverses images réfléchies se voyaient simultanément dans différentes positions, parce que les images avaient été renouvelées avant que l'impression visuelle causée par les premières images eût disparu. En tenant le

Digitized by Google

tube vide d'air près du conducteur principal et en le regardant directement, il semblait quelquefois briller d'une lumière continue; mais lorsqu'on l'examinait dans le miroir, on voyait que cette apparente continuité n'était due qu'à une suite de rapides éclairs.

III. Il est quelques expériences pour lesquelles une autre position du miroir tournant est préférable.

Fig 5



La figure 5 représente la surface réfléchissante inclinée sur l'axe de rotation, et qui lui est presque perpendiculaire. Si un point lumineux est placé en un point quelconque du prolongement de l'axe, les images successivement réfléchies par différentes parties du miroir formeront ensemble un cercle dont on pourra voir simultanément toute la circonférence. L'expérience sous cette forme donne, pour l'image, une vitesse angulaire égale à celle du miroir, et tous les deux se meuvent dans la même direction, tandis que, dans le premier cas, l'image se mouvait avec une vitesse double de celle du miroir et dans une direction opposée. La grandeur apparente du cercle décrit augmente avec la distance de l'objet et l'inclinaison du miroir. La flamme d'une chandelle s'y voit comme un large anneau lumineux, celle du soleil y est convertie en une magnifique ceinture de feu.

Lorsqu'on fait passer une série de petites étincelles entre deux pointes, ou entre une pointe et le conducteur principal, l'œil voit, à cause de la rapidité de leur succession, l'apparence d'un faisceau lumineux permanent.

Lorsque ce faisceau est placé sur le prolongement de l'axe du miroir tournant, les étincelles successives dont il est composé sont ré-

Digitized by Google

fléchies à l'œil chacune par des parties différentes de la surface; elles se présentent comme arrangées à des distances régulières dans un cercle. Lorsque les interruptions sont rapides, l'apparence est extrêmement belle.

Ce moyen fait voir aussi que le pinceau de lumière qu'on obtient en présentant une pointe à quelque distance du conducteur est une action intermittente, malgré son apparence permanente; les images réfléchies présentent cependant cette particularité remarquable, qu'elles sont allongées dans la direction du mouvement, ce qui prouve que le pinceau ne passe pas aussi vite que l'étincelle, et que les émissions qui la constituent subsistent pendant un intervalle de temps qu'on peut mesurer par le mouvement du miroir.

Mais cet instrument n'a pas une utilité bornée à la simple observation des intermittences de la lumière électrique : toutes les fois qu'une succession rapide d'altérations a lieu dans un objet qui ne change pas de place, on peut les examiner séparément par son moyen.

Des corps vibrants présentent différents sujets d'investigation; l'un d'entre eux est peut-être digne d'être mentionné. Une flamme d'hydrogène brillant en plein air présente un cercle continu dans le miroir; mais pendant qu'elle produit un son dans l'intérieur d'un tube de verre, on observe des variations régulières d'intensité présentant une apparence semblable à celle d'une chaîne, et qui indiquent des contractions et des dilatations alternatives de la flamme, correspondant aux vibrations sonores de la colonne d'air.

IV. On a souvent fait des expériences dans le but de déterminer la vitesse de transmission de l'électricité à travers les corps conducteurs. Dans toutes les recherches de ce genre qui ont été publiées, on essayait de mesurer l'intervalle de temps qu'on supposait devoir exister entre les deux décharges faites aux extrémités du fil, extrémités qu'on rapprochait afin qu'elles fussent visibles en même temps. Dans une expérience faite à Shooter's-Hill, sous la surveillance du docteur Watson, le circuit avait quatre milles de long, deux milles à travers un fil, et deux autres à travers le sol : cependant les décharges, comme dans d'autres expériences, parurent semblables et parfaitement simultanées. Ce résultat ne doit pas surprendre; car on sait que l'œil n'est pas aussi capable de distinguer de leur apparence simultanée la succession d'objets lumineux qui se suivent à un intervalle de un huitième à un dixième de seconde, et que, par conséquent, même avec un circuit de quatre milles de

Digitized by Google

long, la vitesse de quelques milles par seconde serait tout ce qu'on pourrait observer par de tels moyens.

Je me déterminai, en conséquence, à refaire une semblable expérience en substituant au jugement imparfait de l'œil l'action d'un miroir tournant, mais plus rapide dans son mouvement et plus exact dans ses indications qu'aucun de ceux que j'avais employés précédemment.

L'instrument que je vais décrire permet de mesurer $\frac{1}{1000000}$ de

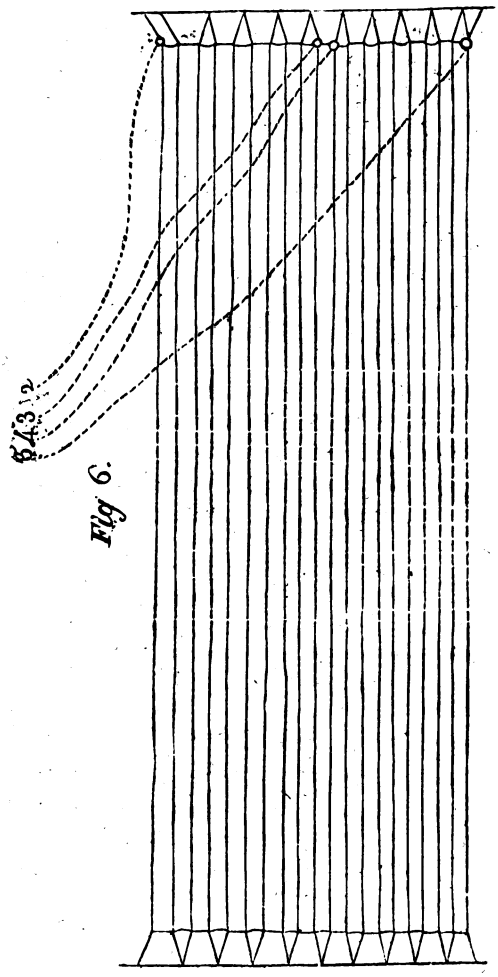


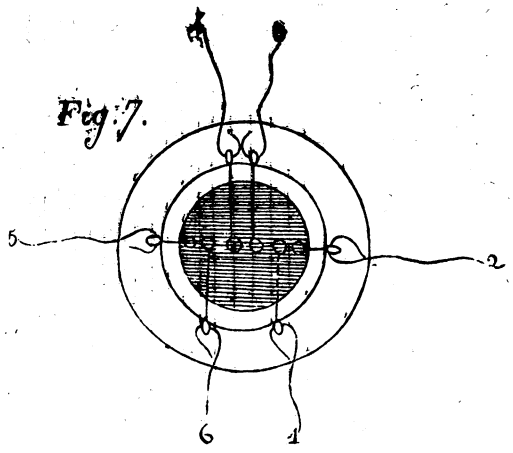
Fig 6.

seconde, et cette limite (dont je n'ai pas lieu de croire l'estimation erronée) pourrait être considérablement dépassée avec des instruments plus coûteux et des observations plus soignées. Mais comme ce n'est que dans l'hypothèse d'un transport réel du fluide d'une extrémité du fil à l'autre qu'on peut s'attendre à observer une différence de temps entre les deux étincelles de ses bouts, j'ai voulu rendre l'expérience proposée indépendante de cette vue théorique, et j'ai eu la précaution de déterminer une troisième étincelle près des deux extrêmes, et sur la même ligne qu'elles, en établissant une interruption au milieu du fil. Car, dans la supposition du transport de deux fluides dans des directions opposées, les étincelles extrêmes devaient être simultanées; mais l'étincelle moyenne ne brille que plus tard. Les mêmes apparences s'accordaient aussi avec l'hypothèse d'un seul fluide, si on admet qu'un dérangement d'équilibre électrique se propage simultanément depuis chaque extrémité, provenant dans un cas d'additions successives à la quantité neutre de conducteur, et dans l'autre de soustractions successives à cette même quantité.

L'expérience fut faite dans la galerie de la rue d'Adélaïde. Le fil isolé, long d'un demi-mille, était disposé comme dans la figure 6. Les parties parallèles du fil avaient chacune 120 pieds de long; elles étaient à 6 pouces les unes des autres, et attachées à la balustrade avec des brides de soie de 6 pouces de long.

La courbure du fil était empêchée à l'aide de cordes de soie tendues à travers la galerie, et qui étaient unies au fil à des distances convenables pour maintenir les positions de celui ci.

Les bouts du fil marqués 2, 3, 4, 5, étaient attachés aux fils de



Digitized by Google

même dénomination *de la planche à étincelle* (spark-board) (1), fig. 7, laquelle était fixée contre la muraille au-dessous de la galerie, de manière que les boules entre lesquelles les étincelles devaient passer fussent sur une même ligne horizontale. La distance de parcours entre chaque étincelle était de un dixième de pouce, et la planche à étincelles elle-même avait 3 pouces et demi de diamètre. Le fil conducteur était de cuivre, et épais de un quinzième de pouce.

La figure 8 représente l'instrument mesureur avec ses appendices, et la figure 10 montre d'une manière plus distincte quelques unes de ses parties essentielles. ABCD est une forte planche d'acajou bien desséché, longue d'un pied, et large de 8 pouces. E est un miroir circulaire d'acier poli d'un pouce de diamètre, fixé sur l'axe horizontal FG, de manière que l'axe de rotation soit dans le plan du miroir. Les pivots de l'axe travaillent sur les montants du support de laiton HI. Le mouvement se communique de la roue K à l'axe, à l'aide d'un fil qui passe dans les gorges creusées sur la circonférence des deux pièces. Une courroie qui est unie à la roue L, attachée au même axe que K, peut être liée à la roue d'une machine quelconque, capable de lui donner un mouvement rapide. Dans les expériences que j'ai faites avec cet instrument, le système des roues était tellement disposé que l'axe portant le miroir eût exécuté 1800 révolutions, tandis que la roue à laquelle le mouvement était d'abord communiqué n'en eût fait qu'une, s'il n'y avait eu aucun retard provenant du glissement des courroies. M est une petite bouteille de Leyde, dont l'armure intérieure doit constamment être électrisée positivement ou négativement à l'aide d'une machine et de la chaîne N. La tige coudée partant de l'armure intérieure de la bouteille est en contact immédiat avec le *déchargeur* OP, et l'on règle la décharge spontanée de la bouteille en variant la distance des deux boules. Le fil 1 est fixé à l'armure extérieure de la bouteille, et le fil 6, qui est attaché à un renflement du support de laiton, se lie au fil de même numéro de la planche à étincelles. Lorsque la bouteille est complétement chargée, et que le bras Q, qui tourne avec l'axe, est amené vis-à-vis du bouton de l'excitateur, la décharge électrique passe à travers le circuit entier, et l'œil voit trois étincelles exactement simultanées. Lorsque la face du miroir est sur le même niveau

(1) Le spark-board est une planche circulaire sur laquelle on a isolé, en les noyant dans de la cire, six fils métalliques parallèles. Leurs extrémités arrondies font seules saillie sur la matière résineuse qu'on a représentée en noir.

(E. W.)

Digitized by Google

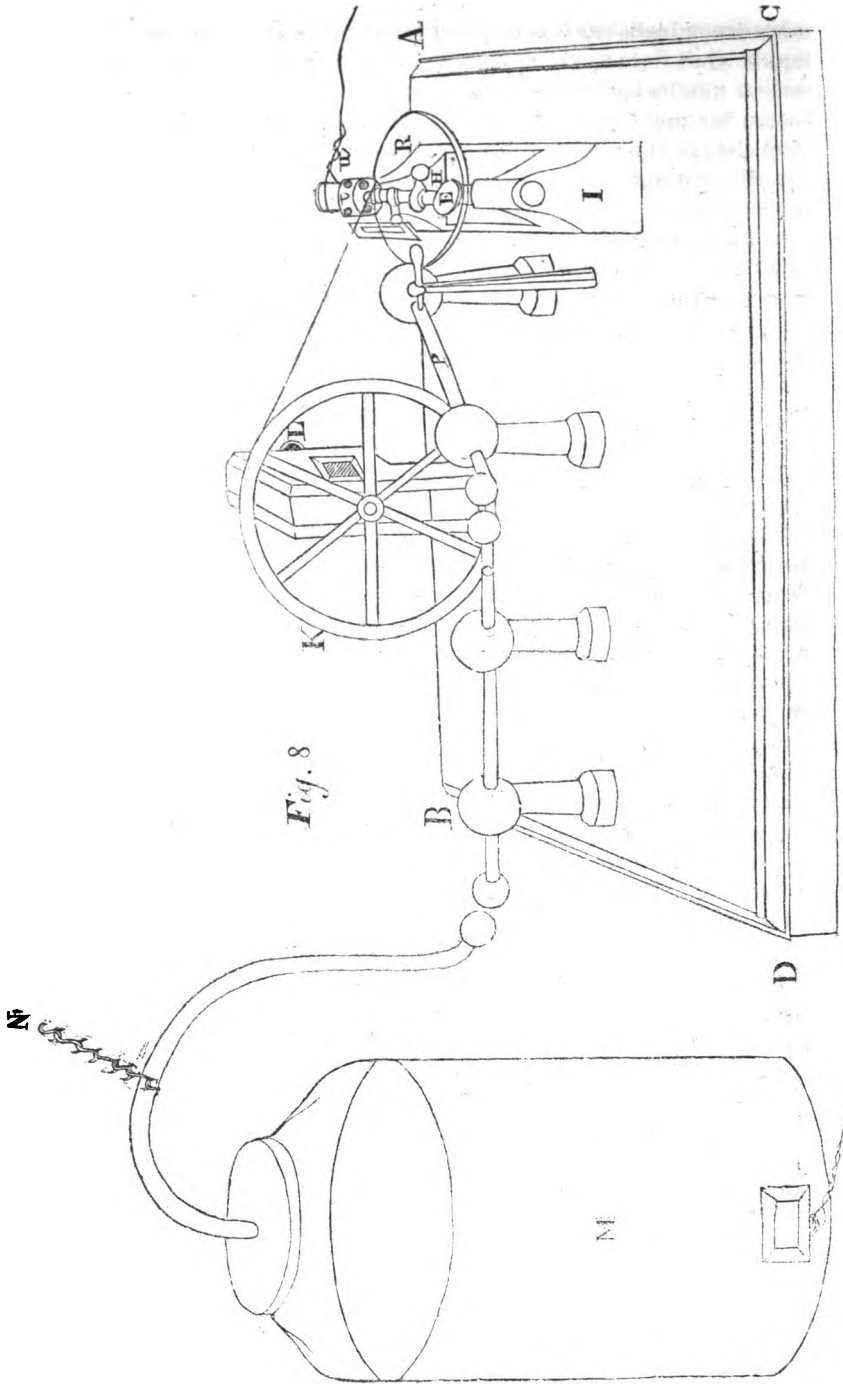
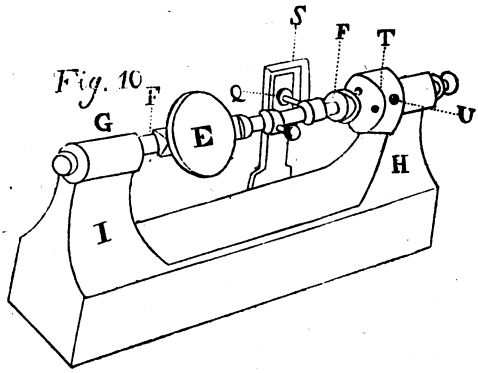


Fig. 8

Digitized by Google

et tournée du côté de la planche à étincelle, et qu'elle est tellement ajustée qu'elle forme un angle de 45° avec l'horizon, l'œil qui re-



garde directement de haut en bas voit les images réfléchies des trois étincelles. Le verre plan ou la lentille R est destiné à empêcher l'œil de s'approcher trop du miroir, et à se prêter à la vision de myopes et de presbytes. Le bras Q est disposé de manière que le circuit puisse être fermé, lorsque le miroir est dans la position ci-dessus indiquée; l'autre bras ne sert que de contre-poids. Pour obvier à l'inexactitude qui résulterait de décharges partant lorsque le bras a des dispositions différentes par rapport au bouton de l'excitateur, on a interposé une plaque de mica S, percée d'une très petite ouverture horizontale opposée à l'axe de l'excitateur, ce qui fixe entre des limites très rapprochées la possibilité de la décharge. Aussi, quelle que soit la rapidité avec laquelle le miroir se meut, les étincelles sont généralement dans le champ de vue.

Il était extrêmement important de déterminer la vitesse angulaire de l'axe qui porte le miroir. On ne pouvait accorder aucune confiance au résultat obtenu en calculant le système de roues, parce que, dans un mouvement aussi rapide, l'évaluation est rendue incertaine par plusieurs causes retardatrices. Il était donc nécessaire de recourir à un moyen indépendant de ces sources d'erreurs, et qui indiquât immédiatement la vitesse (1). Celui qui parut attein-

(1) Depuis la lecture de ce mémoire à la Société royale, l'instrument a été muni d'un appareil destiné à enregistrer le nombre des tours. Il est formé d'une aiguille liée à l'axe par un engrenage, et qui fait un tour pendant que le miroir en fait dix mille. L'augmentation de la résistance au mouvement qui en est résultée n'a pas permis de dépasser 600 révolutions par seconde.

Digitized by Google

dre le mieux ce but, ce fut de mettre le plateau mobile d'une petite syrène en rotation par l'axe du miroir. T représente une petite boîte creuse d'un pouce de diamètre, dans laquelle le courant d'air était amené par un tube placé en U. Sur le fond de cette boîte on avait pratiqué circulairement et à égale distance un certain nombre d'ouvertures; un disque perforé de la même manière, et qui se mouvait devant ce fond, interceptait d'une manière périodique le courant sortant, et produisait un son correspondant à la fréquence des occlusions. Il est évident qu'on obtient le nombre des révolutions en divisant par le nombre des ouvertures le nombre de vibrations dans une seconde, correspondant au son produit.

J'employai d'abord dix orifices : lorsque le mouvement était lent, on pouvait aisément déterminer le son, mais une augmentation de vitesse le rendait inappréciable. Je réduisis alors à 5 le nombre des ouvertures, mais sans mieux réussir; et enfin à 2 : alors le son était si faible, comparé aux bruits concomitants, qu'on ne pouvait plus l'entendre d'une manière distincte.

L'usage du bras Q lui-même, pour produire le son, permit enfin de surmonter la difficulté. On y attacha une petite bande de papier qui, recevant un coup à chaque révolution, produisit par le prompt retour de ces chocs un son dont l'acuité variait avec la rapidité du mouvement. Lorsque la machine avait la vitesse maximum employée dans les expériences, on obtenait un *sol* dièze de la quatrième octave, ce qui correspond à 800 révolutions du miroir par seconde. A ma connaissance, rien n'a pu troubler l'exactitude du résultat; on entendait le même son en se servant de différents morceaux de papier et de carte; et si on modérait la vitesse, le son passait par tous les degrés de gravité, jusqu'à ce qu'enfin on entendit les battements distincts.

Considérons maintenant quelle est la plus courte durée de l'étincelle électrique, et la plus grande vitesse de transmission à travers le fil, qui puissent être découvertes à l'aide de l'instrument que j'ai décrit. Le miroir fait 800 tours par seconde, et pendant ce temps l'image d'un point fixe décrit 1,600 circonférences; par conséquent l'élongation d'une étincelle égale à un demi-degré (quantité évidemment visible et égale à un pouce, vue à 10 pieds de distance) indiquera qu'elle existe $\frac{1}{115200}$ de seconde. La déviation d'un demi-degré entre les deux étincelles extrêmes correspondait à une vitesse de 576,000 milles par seconde, le fil étant, comme nous l'avons dit, long d'un demi-mille. Cette estimation de la vitesse repose sur

Digitized by Google

l'hypothèse que l'électricité passe d'une extrémité du fil à l'autre. Si les deux fluides dans l'une des théories, ou, dans l'autre, les dérangements d'équilibre partent simultanément des deux extrémités du fil, les deux étincelles extérieures garderont leurs positions relatives; celle du milieu sera seule déviée, et la vitesse mesurée ne sera que la moitié de celle du cas précédent, soit 288,000 milles par seconde.

Des expériences réitérées ont donné les résultats suivants. Dans tous les cas où la vitesse du miroir dépasse une certaine limite, les trois étincelles s'allongent en trois lignes parallèles, et leurs longueurs augmentent avec la rapidité du mouvement. La plus grande élongation observée a été d'environ 24 degrés, ce qui indique une durée d'environ $\frac{1}{24000}$ de seconde. Les lignes ne commencent pas toujours à la même place : quelquefois elles paraissent immédiatement au-dessous de l'œil, d'autres fois à droite ou à gauche, et sont parfois entièrement invisibles. Ainsi que nous l'avons expliqué plus haut, ces divergences proviennent de ce que le bras ne soutire pas toujours l'étincelle à la même distance de l'excitateur : quelques décharges sont donc nécessaires avant que l'œil puisse faire une observation distincte. Lorsque la vitesse est encore faible, les points extrêmes paraissent être exactement dans la même verticale; mais lorsque la vitesse est considérable, et que le miroir tourne à droite, les lignes prennent l'apparence — ; tandis que s'il tourne à gauche, elles paraissent ainsi . Dans aucun cas je ne les vis comme ceci ou bien , ainsi qu'il le faudrait dans la supposition du transport d'un seul fluide. Il m'a paru convenable de placer sur le bord de la planche à étincelles et près d'elles la flamme d'une bougie pour guider l'œil; les lignes de la lumière électrique dans le miroir étaient immédiatement au-dessus de la ligne constante formée par la réflexion de cette flamme, et lui était parallèle, en sorte que l'œil pouvait être plus facilement dirigé sur elle, tout en servant à l'ajuster à une distance focale convenable. La table à étincelles était placée, dans toutes les expériences, à 10 pieds du miroir.

Après avoir obtenu un allongement considérable de ces étincelles, je pensais pouvoir aussi allonger les étincelles ou étendre les lignes de quelques uns des divers arrangements de lumière électrique décrits au § 2; mais, même avec la vitesse extraordinaire que j'avais atteinte, je ne pus y observer aucune altération quelconque. Elles étaient encore réfléchies aussi distinctes et aussi peu changées

Digitized by Google

que les objets eux-mêmes vus directement. L'allongement des étincelles, aux interruptions du fil ci-dessus mentionnées, était sans doute dû à ce que le diamètre du fil n'était pas assez grand pour permettre à la charge de la bouteille de le traverser autrement que d'une manière successive. La durée de la décharge, dans le cas de ces étincelles, paraissait être plus longue que le temps requis par l'électricité pour traverser plusieurs milles de fil.

Les étincelles tirées du grand aimant construit par M. Saxton, et qui se trouve dans la galerie d'Adelaïde Street, s'étaient considérablement allongées, même lorsque le miroir se mouvait avec une vitesse comparativement plus petite.

V. Dans le but d'accroître les chances d'observer les étincelles, etc., lorsque leur apparition ne peut pas être déterminée au moment où le miroir se trouve dans une position convenable pour les fléchir à l'œil, je propose d'employer un miroir à faces polygonales, symétriquement placé par rapport à l'axe de rotation. Tel serait un miroir hexagonal, par exemple, fig. 9, où *ab* est l'axe mo-

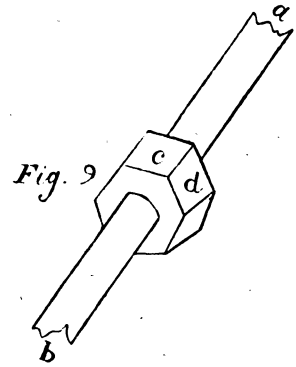


Fig. 9

bile, et *c*, *d*, *e*, trois des faces réfléchissantes. Si l'objet est lumineux sans intermittences, l'œil verra, pendant une révolution de l'axe, six arcs lumineux occupant tous la même position ; et si la lumière est passagère, on aura six fois plus de chances d'observer son image réfléchie que dans le cas d'une seule surface miroitante.

Il est vrai que les arcs ne sont pas circulaires ; mais la différence est à peine sensible lorsque le rayon de la section polygonale est très petit, comparé à la distance de l'objet lumineux, ce qui serait le cas dans toutes nos expériences.

Digitized by Google

J'ai aussi proposé diverses modifications dans les parties de l'instrument § 4, pour des expériences particulières, et pour répéter avec plus d'exactitude celles qui ont été faites; mais il serait prématuré de les décrire, parce qu'elles n'ont point encore été mises à l'épreuve.

VI. L'instantanéité de la lumière de l'électricité à haute tension, rendue évidente par les recherches précédentes, donne le moyen d'observer, pendant un seul instant de leur durée, des phénomènes qui changent avec rapidité, et de faire un grand nombre d'expériences sur les mouvements des corps, lorsque leurs positions successives se suivent trop rapidement pour être vues dans des circonstances ordinaires.

Je me bornerai à en indiquer quelques exemples. Une roue tournant rapidement ou un disque en rotation, sur lequel on a peint un objet quelconque, semble parfaitement stationnaire lorsqu'on l'éclaire par l'explosion de la bouteille. Des insectes volants semblent fixés dans l'air. Des cordes en vibration sont vues en repos dans leurs positions déviées. Des gouttes d'eau qui, en se succédant rapidement, paraissent à l'œil un filet continu, se voient telles qu'elles existent réellement.

VII. Les expériences précédentes ayant eu plutôt pour but de découvrir des élongations et des déviations que de les mesurer, il ne m'est pas possible de donner les résultats avec une exactitude numérique. Je m'efforcerai de suppléer à cette lacune par de nouvelles recherches. Je me borne pour le moment à formuler les conclusions suivantes, déduites des apparences que j'ai observées, bien qu'on ne doive pas les considérer comme entièrement établies avant qu'on ait achevé des expériences plus soignées :

1° La vitesse de l'électricité dans un fil de cuivre est plus grande que celle de la lumière dans l'espace planétaire.

2° Dans un fil qui communique par ses extrémités avec les deux armures d'une bouteille chargée, le dérangement d'équilibre électrique se propage avec une égale vitesse, à partir des deux bouts du fil, et n'arrive que plus tard au milieu du circuit.

3° La lumière électrique, à l'état de haute tension, dure moins de $\frac{1}{1000000}$ de seconde.

4° L'œil est capable de voir distinctement les objets qui lui sont présentés pendant ce court intervalle de temps.

En continuant ces recherches avec des instruments plus puissants et plus exacts dans leurs indications, on pourra établir des lois nu-

Digitized by Google

mériques pour une classe nombreuse de phénomènes dont nous n'avons eu jusqu'ici aucun moyen d'observer les relations. Parmi ces sujets d'étude, nous citerons les vitesses relatives des électricités dans des fils métalliques différents ; les modifications de la rapidité de l'électricité à divers états de tension, passant par le même conducteur, si tant est que l'on découvre là quelque différence ; la durée de l'étincelle électrique dans différentes circonstances de tension et de quantité, etc.

Comme application de ces mêmes et féconds principes, j'ajouterai ici une note curieuse de M. Dove et la description du phénomène de M. Wheatstone.

Sur la discontinuité de la lumière des éclairs, par M. le professeur Dove.

Les belles expériences de M. Wheatstone éveillèrent en moi le désir de savoir si les éclairs qui brillèrent, en nombre extraordinaire et presque sans interruption, pendant le second orage qui fondit sur Berlin, le 5 juillet 1835, à neuf heures trois quarts du soir, se composait d'une succession très rapide de décharges séparées. J'employai à cet effet la roue ou Farben-Kreisel de Busolt. Cet instrument consiste en un disque formé d'un alliage de zinc et de plomb. Il est solidement fixé sur un axe conique en bois très dur et bien sec, lequel est terminé inférieurement par une garniture d'acier non trempé, soigneusement arrondie. Le retrait rapide d'un cordon enroulé sur la partie supérieure de l'axe (qui est retenu dans une pièce particulière) met l'appareil en rotation ; le mouvement, dans des circonstances favorables, se perpétue sans varier durant 45 minutes et plus ; il est si rapide que l'axe paraît presque immobile. Il convient que l'instrument pèse environ 5 livres ; il frotte sur une assiette d'excellente porcelaine. Après avoir mis en rapide rotation cet appareil, et l'avoir couvert de deux bandes de carton colorées (Flingeln), dont les teintes se combinent agréablement à la lumière d'une bougie, on la plaça dans une chambre obscure, et on vit, sous l'illumination des éclairs, que la croix formée par les deux bandes avaient des limites bien définies, mais se balançait de çà et de là avec la plus grande vitesse sur le fond noir de la roue : la même chose avait lieu, que les bandes fussent perpendiculaires entre elles ou qu'elles formassent un angle aussi aigu que possible, d'où suit que même les éclairs les plus prolongés en apparence sont formés de la succession de décharges élémentaires, et que la durée

Digitized by Google

d'une de ces décharges n'est aucune fraction appréciable du temps dans lequel le cercle accomplit une révolution, savoir une tierce, d'après Busolt, dans des circonstances favorables.

Je rappellerai enfin le système d'expériences à l'aide duquel M. Arago a promis de soumettre à des épreuves décisives les deux théories de l'émission et de l'ondulation. Félix Savart s'était servi d'un procédé tout différent, mais non moins ingénieux, pour découvrir la constitution de la molécule fluide?

Il est donc démontré, par les expériences de MM. Pouillet et Wheatstone, que la vitesse de l'électricité est énorme, plus grande même que celle de la lumière; qu'elle parcourt plus de 333,800 kilomètres par heure. Il y a d'ailleurs cette différence entre les recherches des deux physiciens que nous venons de nommer, que M. Wheatstone, pour déterminer la vitesse du fluide électrique, a employé l'électricité ordinaire ou de tension, tandis que M. Pouillet a employé l'électricité voltaïque ou dynamique; l'ensemble de leurs travaux forme un tout complet. J'aurais voulu pouvoir en déduire la confirmation des quelques lois générales de la physique. Il est démontré que la vitesse du mouvement ondulatoire qui constitue le son est indépendante de l'intensité et du ton; que les sons faibles ou forts, graves ou aigus, se propagent avec la même rapidité; tout ce que l'on sait de la lumière fait supposer qu'il en est de même du mouvement ondulatoire qui la constitue; que les rayons lumineux, quelles que soient leur intensité et leur couleur, se propagent aussi avec la même vitesse. Il doit en être ainsi encore de l'électricité; et l'on doit même admettre que les deux électricités statique et dynamique se meuvent avec la même vitesse, car on ne peut douter que l'électricité ne résulte aussi d'ondulations, et il est prouvé que la vitesse de propagation d'un mouvement ondulatoire quelconque dépend uniquement de l'élasticité et de la densité du milieu dans lequel il se propage, et nullement de la cause excitante. Je suis forcé d'avouer que les recherches faites jusqu'ici ne sont pas assez complètes pour qu'on puisse y trouver la confirmation expérimentale de ces grandes conclusions théoriques.

Il est au moins prouvé que les signaux de la télégraphe électrique sont transmis avec une rapidité que la pensée ne peut pas atteindre, et qui est telle que dans l'espace d'une seconde ils feraient six ou sept fois le tour du monde. Sous ce rapport, la démonstration est entière. Toutes les fois que le courant se transmettra à travers un circuit, quelque immense qu'il soit, il le parcourra avec une vitesse incommensurable. Mais ici se présente une question plus grave que

Digitized by Google

la première. Est-il prouvé, *à priori*, qu'on pourra faire parcourir au courant un circuit, quelque immense qu'il soit? Une résistance quelconque étant donnée, pourra t-on toujours la vaincre économiquement en disposant convenablement la source d'électricité? Admettons, par exemple, que l'électricité doive parcourir un fil de deux millimètres de diamètre, et de deux cents lieues de longueur; s'est-on assuré, *à priori*, qu'on pourra créer, sans des frais trop énormes, l'appareil producteur du courant direct ou d'induction par lequel cette résistance pourra être vaincue? Connaît-on d'avance les dispositions par lesquelles on sera assuré du succès, etc., etc.? Ces questions nouvelles et si importantes forment l'objet d'un second mémoire de M. Wheatstone, mémoire qui résume admirablement tout ce qui avait été fait précédemment, qui recule beaucoup les limites de la science, et qui, par cette double raison, a été reçu avec une sorte d'enthousiasme. Nous reproduisons intégralement la traduction, par M. Fayeux, qui en a été donnée dans les *Annales de physique et de chimie*; mais comme plusieurs physiciens, MM. Ohm, Fechner, Pouillet, etc., ont concouru chacun de leur côté à établir les lois remarquables qui, dans la propagation des courants électriques, lient la puissance à la résistance, et qu'il importe que leurs droits respectifs soient bien établis, nous ferons précéder le mémoire de M. Wheatstone par la note suivante lue par M. Pouillet au sein de l'Académie des sciences, le 27 janvier 1845. Il me semble que ce précis historique ne laisse rien à désirer sous le rapport de la clarté et de l'impartialité; il n'a d'ailleurs été contesté par personne.

Histoire de la découverte des lois relatives à la propagation du fluide électrique.

« Depuis que nous nous sommes occupés de la théorie de la pile, MM. Ohm, Fechner et moi, dit M. Pouillet, la science a acquis deux idées fondamentales et distinctes qui sont devenues le principe d'une foule de déductions importantes.

» La première est celle-ci : une source électrique étant donnée, l'intensité du courant qu'elle produit, dans un circuit simple, peut se déduire des éléments constitutifs de la source et du circuit.

» La seconde peut être énoncée de la manière suivante : lorsqu'un conducteur simple est remplacé dans un circuit par des conducteurs multiples, l'intensité du courant dans chacun de ces conducteurs multiples peut se déduire de leurs éléments constitutifs et de leur intensité primitive.

Digitized by Google

» Qu'il me soit permis de le dire dès l'abord sans rien préjuger sur les découvertes de M. Ohm et de M. Fechner, et sans y mêler pour moi aucun sentiment d'amour-propre, mais seulement parce que cela est juste et vrai; qu'il me soit permis de le dire, ces deux idées je les ai eues et je les ai démontrées. Ce qui n'est ici de ma part qu'une simple affirmation se trouvera, je l'espère, justifié de la manière la plus complète par l'examen que je vais faire de la question de priorité, et de la question de savoir si mes recherches sur ce point sont venues en temps utile pour rendre quelque service à la science.

» Les deux idées dont il s'agit se trouvent, sous une certaine forme abstraite et hypothétique, dans l'ouvrage que M. Ohm a publié à Berlin, en 1827. Je ne sache pas que, dans ce temps là, cet ouvrage ait été connu en France autrement que par deux extraits fort courts donnés dans le *Bulletin de Férussac*, l'un vers le milieu de 1828 (t. IX, p. 260), l'autre vers la fin de 1829 (t. XII, p. 244). Avant la publication de ces extraits, au mois de mars 1828, paraissait le second volume de ma première édition, dans lequel se trouve décrite la boussole des tangentes, dans lequel je cite les expériences que j'ai faites; dans lequel enfin, contrairement à toutes les opinions déjà reçues à cette époque, j'exprime nettement l'idée que, pour comparer les intensités des courants, il faut tenir compte de la résistance de la pile; je l'exprime comme un résultat direct de l'expérience et en indiquant comment cette résistance se détermine expérimentalement (tome I, 2e partie, p. 755, mars 1828) (1). Il est vrai que, dans ce passage, il est dit que cette résistance est en raison *inverse* de la section du fil, quand il devrait être dit qu'elle est en raison *directe*. S'il se trouve des physiciens qui, après avoir lu la description des expériences et les formules qui en résultent, s'imaginent qu'il y ait là autre chose qu'une faute d'impression, je n'ai qu'une prière à leur faire, c'est de vouloir bien relire sans prévention et avec le seul désir de chercher la vérité.

» Sur ce premier point, quelle est donc la situation de M. Ohm et quelle est la mienne? M. Ohm, sous ce rapport, à la priorité: il a incontestablement publié en 1827 l'idée qu'il fallait tenir

(1) M. Poggendorff, qui suit d'une manière si vigilante les progrès de la science, avait saisi toute la portée de ce principe, et il avait bien voulu le reproduire textuellement dans ses *Annales* (t. XV, page 91, premier numéro de 1829). M. Fechner en fait lui-même usage, et cite mon nom à ce sujet dans son ouvrage de 1831. En réalité, c'est mon principe et ma méthode qui servent de base à M. Fechner, et non pas le principe et la méthode de M. Ohm.

Digitized by Google

compte de la résistance de la pile comme des autres résistances du circuit; mais, d'une part, il n'a fait aucune analyse de ces résistances, il n'a pas séparé celle qui appartient à la pile elle-même de celle qui appartient aux autres conducteurs, enfin il n'a pas donné le moyen d'en découvrir la valeur; et, d'autre part, il n'a donné de la justesse de sa pensée qu'une démonstration mathématique, fondée sur des considérations d'électricité statique qui, aujourd'hui encore, auraient elles-mêmes besoin de démonstration. M. Ohm, en un mot, a donné cette loi, non pas comme conséquence de principes avoués et reconnus, mais comme conséquence d'une pure hypothèse; il restait donc deux choses à faire: ou à prouver indirectement par l'expérience l'exactitude des résultats, ce que M. Ohm avait essayé de faire, mais ce qu'il n'avait pas fait, ou à prouver directement la rigueur de l'hypothèse, et à justifier l'usage mathématique qui en était fait, soit dans l'établissement des équations différentielles, soit dans la détermination des constantes, ce qu'à ma connaissance aucun mathématicien n'a fait jusqu'à ce jour.

» Il est vrai que mon ouvrage vient huit ou dix mois après celui de M. Ohm; mais j'ai peut-être l'avantage sur lui d'avoir suivi une voie moins savante, d'avoir été guidé par l'expérience et d'avoir démontré le principe d'une manière directe et incontestable, en même temps que je le découvrais.

» Je prie cependant les physiciens de remarquer la réserve avec laquelle je m'exprimais en 1828; je dois ici leur en dire la raison: c'est que j'avais pendant près de cinq ans fait d'innombrables expériences sur ce sujet avec des piles de toute espèce, en variant les liquides excitateurs de toutes les façons, et il m'avait été impossible, absolument impossible de trouver une pile, grande ou petite, forte ou faible, dont la résistance fût tolérablement constante; dans les cas les plus tolérables, elle l'était à peu près, mais non pas avec rigueur: c'est pourquoi j'avais renoncé à communiquer à l'Académie des résultats incertains; mais, en imprimant mon ouvrage, j'avais voulu constater le principe. Je crois, à cet égard, que mes recherches ont ajouté quelque chose à celles de M. Ohm, et qu'elles sont venues en temps utile pour être accueillies avec quelque bienveillance, et pour contribuer d'une manière efficace aux progrès de la question, non seulement en France, mais aussi à l'étranger, et même en Allemagne.

» Examinons maintenant ce qui a rapport aux courants multiples ou courants dérivés. Ici, M. Ohm a encore le même genre de priorité, priorité d'initiative et non pas de solution définitive; c'est lui qui a été le premier à poser la question, et, sans savoir qu'il l'eût posée, j'ai été le premier à la résoudre.

Digitized by Google

» Les luttes scientifiques ne sont jamais des luttes en champ clos, même quand elles semblent circonscrites à une seule et unique question. Deux émules, à l'insu l'un de l'autre, se proposent le même but, mais ils ne partent pas du même point et ils ne suivent pas la même route. Et ici, assurément, M. Ohm et moi, nous étions dans les voies les plus différentes, les plus opposées. Il avait montré le but d'une manière vague par le calcul ; je l'ai vu, de mon côté, d'une manière nette, et je l'ai touché par l'expérience.

» Il est vrai que M. Ohm a publié un ouvrage en 1827, et que c'est seulement quatre ans après, c'est-à-dire le 30 octobre 1831, que j'ai présenté à l'Académie le mémoire dans lequel j'établis les formules des courants dérivés et leurs comparaisons avec des expériences très nombreuses et très précises ; mais, grâce à Dieu, jusqu'à présent, après avoir fait le parallèle des deux méthodes, personne ne m'a accusé d'avoir puisé des idées ou même des inspirations dans l'ouvrage de M. Ohm.

» Toute la question se réduit donc à ceci : les physiciens pouvaient-ils, devaient-ils accepter les démonstrations mathématiques de M. Ohm comme étant la représentation fidèle et nécessaire des faits et des expériences ?

» Je me dispense, quant à présent, de discuter au fond cette question ; je me borne à dire que, pour ceux qui la résoudront affirmativement, mon travail était inutile ; mais que pour ceux qui la résoudront négativement, mon travail faisait faire un pas important à la science.

» On me demandera peut-être pourquoi je ne l'ai pas publié *in extenso*, et pourquoi je me suis borné à en laisser mettre un extrait dans le *Lycée*, qui, à cette époque, rendait fidèlement compte des séances de l'Académie. Je répondrai franchement que toutes les fois que MM. les rédacteurs des *Annales de physique et de chimie* m'ont témoigné le moindre désir d'imprimer mes mémoires, je les ai donnés avec autant d'empressement que de reconnaissance, mais qu'il ne m'est pas venu à l'esprit de les offrir et de solliciter pour eux une place.

» D'ailleurs, je n'avais pas renoncé à l'espérance d'étendre mes expériences aux courants hydro-électriques, auxquels j'avais déjà consacré tant de temps et d'efforts. Enfin, j'ajouterai qu'après avoir lu mon mémoire, je l'avais, suivant ma coutume, un peu oublié entre les mains des commissaires de l'Académie.

» C'est ici le lieu de dire un mot du travail de M. Fechner, qui date aussi de 1831, et que je ne connais, je l'avouerai, que par

Digitized by Google

l'extrait qu'en donne le *Bulletin de Férussac* (t. xv, p. 279, mai 1831). J'y trouve un passage ainsi conçu :

« 3° Confirmation de la loi trouvée par MM. Ohm et Pouillet, que la force de la chaîne diminue avec la longueur du fil de jonction, et preuve directe que le courant se partage entre les fils qui forment une chaîne en proportion de leur pouvoir conducteur. »

» La dernière partie de ce passage me fait supposer que M. Fechner s'est occupé des courants dérivés : cependant je suis porté à croire qu'après son travail, mon mémoire de 1831 conserve toute sa valeur ; car M. Poggendorff, qui n'avait pas eu connaissance de ce mémoire, dit, en 1841 (t. LIV, p. 173), en parlant de mon mémoire de 1837, qu'ici j'ai le premier donné les formules des courants dérivés, et que le premier je les ai comparées avec l'expérience.

» Enfin, j'arrive en 1837 et au mémoire que j'ai alors présenté à l'Académie sur les lois de l'identité des piles et des courants hydro-électriques. Tous les principes ayant été discutés dans ce qui précède, je n'ai plus à établir de comparaison qu'entre les travaux de M. Fechner et les miens.

» Je confesse tout d'abord mon embarras : comme je le disais tout-à-l'heure, je ne connais les recherches de M. Fechner que par un extrait qui me semble peu propre à en donner une idée complète. Voici, cependant, quelques principes qui me permettront de m'expliquer à ce sujet.

» En 1831, on ne connaissait pas les piles à courants constants ; M. Fechner était sans doute condamné à se servir de piles à forces variables, comme j'avais moi-même été condamné à le faire pendant tout le cours de deux premières recherches. Or, je n'hésite pas à dire qu'avant la découverte des piles à courants constants, il était impossible d'établir, je ne dirai pas d'une manière rigoureuse, mais seulement d'une manière satisfaisante, les lois de l'intensité des courants électriques. Je n'hésite pas à dire que, même aujourd'hui, lorsque ces lois sont établies et constatées, lorsqu'il ne peut plus rester aucun doute sur leur parfaite exactitude, lorsque les moyens d'observation sont devenus plus variés et plus parfaits, il serait impossible à un physicien de la reconnaître et de la vérifier sur des piles à force variable dont M. Fechner et moi avons pu faire usage jusqu'en 1831.

» Plusieurs causes concourent sans doute à produire les irrégularités considérables qui se manifestent dans ces appareils, surtou lorsque la conductibilité des circuits éprouve de grandes variations ; mais, parmi ces causes, l'une des plus puissantes est, je crois,

Digitized by Google

celle-ci : quand l'action chimique s'exerce sans que les communications soient établies entre les pôles, l'électricité qui constitue le courant n'est qu'une portion de celle qui s'est développée, et si les communications deviennent plus ou moins conductrices, non seulement l'action chimique change d'intensité, mais la portion d'électricité produite qui constitue le courant change elle-même suivant des rapports complexes dont, jusqu'à présent, l'on n'a pas fait l'analyse. Je n'admets donc pas que la théorie que j'ai donnée pour les courants thermo-électriques et pour les courants hydro-électriques des piles à force constante s'applique sans modifications aux anciennes piles et à celles qui leur ressemblent.

» Est-ce à dire pour cela que l'ouvrage de M. Fechner doive être regardé comme sans valeur et sans mérite, comme non avenu pour la science? Dieu me garde de faire une telle critique et de porter un tel jugement sur un physicien qui a travaillé avec tant de zèle et qui a servi la science comme il était possible de la servir à cette époque. J'ai fait trop d'expériences de cette nature, je sais trop les soins et la persévérance qu'elles exigent pour ne pas rendre à M. Fechner tous les hommages qui lui sont dus. Je n'ai rien publié de mes travaux, je me suis obstiné à vouloir plus de rigueur ; mais M. Fechner a rendu un véritable service en publiant ce qu'il trouvait et comme il le trouvait. J'admets qu'il a fait tout ce qu'il était possible de faire avec les piles dont on pouvait alors disposer.

» Maintenant, voici la question qui s'élève entre M. Fechner et moi. Les physiciens qui estiment qu'après les recherches de M. Fechner il ne restait plus rien à faire sur les lois d'intensité des piles et des courants hydro-électriques jugeront que mon travail de 1837 était inutile ; ceux qui, au contraire, estiment que son ouvrage, quelque recommandable qu'il fût, laissait beaucoup à faire, jugeront que mon mémoire de 1837 méritait d'être accueilli avec bienveillance. Mais les uns et les autres seront du moins d'accord sur ce point que, même en 1837, je n'ai rien pu emprunter, ni aux principes, ni aux méthodes, ni aux résultats de M. Fechner. »

(*La suite au prochain numéro.*)

Digitized by Google

REVUE

DES JOURNAUX FRANÇAIS ET ÉTRANGERS,

PAR E. KOPP.

CHIMIE INORGANIQUE ET MINÉRALOGIE.

Sur les composés dérivés de l'action du chlore sur le sulfure de carbone, par Kobbe.

(Ann. der Chem. u. Pharm. v. Lieb. et Woh., 1845, numéro 5.)

1° *Action du chlore sur le sulfure de carbone.*

En versant une petite quantité de sulfure de carbone (CS^2) dans un flacon renfermant du chlore sec, déjà à la température ordinaire et sous l'influence de la lumière solaire, les deux corps réagissent l'un sur l'autre, et au bout de quelques jours on trouve un liquide rouge, consistant en un mélange de chlorure de soufre et de chlorure de carbone (CCl^4).

CS^2	$+ Cl^8$	$= CCl^4$	$+ 2SCl^2$
Sulfide carbonique.		Chlorure de carbone.	Chlor. de soufre.

En distillant ce mélange avec de la potasse caustique, le chlorure de soufre est retenu, et le chloride carbonique se rend dans le récipient.

La même réaction a lieu d'une manière instantanée à la température rouge; par exemple, en faisant passer du chlore sec, chargé de vapeurs de sulfide carbonique, à travers un tube en porcelaine chauffé au rouge.

Le *chloride carbonique* obtenu de cette manière est identique avec celui qu'on obtient par l'action du chlore sur le *chloroform*, ou sur l'éther hydrochlorique du méthylène, et que M. Regnault a appelé éther hydrochlorique perchloruré méthylique.

Digitized by Google

$$CHCl^3 + Cl^2 = CCl^4 + HCl$$

Chloroform. Chloride carbonique.

$$CH^3Cl + Cl^6 = CCl^4 + 3HCl$$

Éther hydrochlorique. Chloride carbonique.

En effet, le chloride carbonique forme un liquide incolore, d'une odeur éthérée, insoluble dans l'eau, d'une densité = 1,56, dont le point d'ébullition est = 77° c., et la densité de la vapeur 5,24 par expérience et 5,29 par le calcul.

Une solution aqueuse de potasse ne l'altère pas; une solution alcoolique ne réagit qu'à la longue et donne naissance à du chlorure de potassium et du carbonate de potasse:

$$CCl^4 + 3KO = CO^2, KO + 2(Cl^2K).$$

En faisant passer la vapeur du chloride carbonique à travers un tube chauffé au rouge, elle se décompose en chlore libre et en un mélange de sesquichlorure carbonique (CCl^3) et de chlorure carbonique (CCl^2). Ce mélange, exposé avec du chlore sec à l'action des rayons solaires, se transforme immédiatement en sesquichlorure de carbone (CCl^3) pur.

Ce dernier, distillé avec une solution alcoolique de *sulfhydrate* potassique, se transforme en chlorure potassique et en *chlorure carbonique* (CCl^2) pur, qui se condense dans le récipient.

2° *Action du chlore humide sur le sulfure de carbone.*

En traitant le sulfide carbonique par le chlore humide ou par l'eau régale, on obtient un corps blanc, cristallin, découvert déjà par MM. Berzelius et Marcet, qui l'avaient considéré comme une combinaison d'oxichlorure de carbone avec de l'acide hyposulfureux. On le prépare le plus facilement en faisant un mélange d'acide hydrochlorique, de suroxide manganique et de sulfide carbonique qu'on abandonne à lui-même pendant quelques jours, et qu'on expose ensuite aux rayons solaires. Le tout est introduit dans une grande cornue et distillé avec précaution; d'abord passe un peu de sulfure de carbone non altéré accompagné d'un liquide jaunâtre, d'une odeur désagréable, puis distille le produit principal, qui se condense en croûtes dans le récipient, et qu'on en détache vers la fin avec beaucoup de facilité.

Sa composition est représentée par la formule :

$$C^2Cl^4S^3,$$

Digitized by Google

et on peut le considérer comme un *sulfite de chloride carbonique.*

Sa formation s'explique très facilement par la présence simultanée du chlore et de l'eau.

$$CS^2 + Cl^8 + 2H^2O = CCl^4SO^2 + H^4Cl^4 + S.$$

Ce corps est blanc cristallin, volatil, insoluble dans l'eau et les acides, soluble dans l'alcool, l'éther et le sulfure de carbone; il fond à 135°, entre en ébullition à 170° c., et distille sans altération, soit seul, soit avec des vapeurs d'eau.

Il possède une odeur extrêmement caractéristique et pénétrante qui provoque le larmoiement et cause une sensation brûlante dans le gosier. Une solution alcoolique récente n'est point troublée par le nitrate d'argent; mais au bout de quelque temps il y a précipitation de chlorure argentique qui augmente avec l'exposition de la liqueur à l'air.

La combinaison sèche ne rougit point le papier de tournesol; elle ressemble beaucoup au camphre, et se sublime comme lui, en vases clos, aux parois, en petites tables rhombiques brillantes et transparentes; le plus petit angle de la base se rapproche tellement de 60°, que par troncature des arêtes aiguës opposées, il se forme un prisme à six pans presque régulier. Les deux formes se rencontrent souvent en faisant la sublimation dans un tube et à une température très modérée; les prismes se trouvent les plus rapprochés de la paroi échauffée du tube.

La densité de la vapeur = 7,43 par expérience, et 7,51 par le calcul; la formule (CCl^4SO^2) représente 1 vol. de vapeur.

La chaleur rouge décompose le sulfite de chloride carbonique en chlorure carbonique (CCl^2), chlore et acide sulfureux :

$$CCl^4SO^2 = CCl^2 + Cl^2 + SO^2.$$

Chauffé avec un grand excès d'acide sulfurique concentré, il se décompose en acide sulfureux, en gaz chlorhydrique et gaz chloroxicarbonique :

$$CCl^4SO^2 + H^2O = COCl^2 + H^2Cl^2 + SO^2.$$

Il éprouve une décomposition semblable en acides hydrochlorique, sulfureux, sulfurique et carbonique sous l'influence prolongée de l'air et de l'humidité.

Digitized by Google

Sulfite de chlorure carbonique.

$[CCl^2SO^2]$.

Le composé précédent, mis en contact avec des corps réducteurs par exemple l'acide sulfureux, le chlorure stanneux, l'hydrogène sulfuré, l'hydrogène à l'état naissant, perd 2 de chlore et se transforme en un nouveau composé $[CCl^2SO^2]$ qui peut être considéré comme un sulfite de chlorure carbonique.

On l'obtient le plus facilement en saturant une solution alcoolique de $[CCl^4SO^2]$ par du gaz sulfureux et en chassant l'excès de gaz par une élévation de température. La liqueur contient alors de l'acide hydrochlorique, de l'acide sulfurique et la nouvelle combinaison (CCl^2SO^2). Celle-ci est si facilement altérable, qu'on n'a pas encore réussi à l'isoler; sa solution aqueuse ou alcoolique est incolore et inodore, et ne peut être concentrée par l'évaporation au contact de l'air. Ce corps a une très grande affinité pour l'oxigène, qui le transforme en gaz chloroxicarbonique, et partiellement en acide sulfurique : aussi sa solution, versée sur une surface plane, répand-elle sur-le-champ des vapeurs irritantes en abondance.

La solution aqueuse, mise en contact avec du chlore, se trouble; du sulfite de chloride carbonique insoluble se dépose immédiatement.

$$CCl^2SO^2+Cl^2=CCl^4SO^2.$$

Le brome produit un précipité analogue d'une combinaison à la fois chlorée et bromée, qui est probablement :

$$C\left\{\begin{matrix}Cl^2\\Br^2\end{matrix}\right\}SO^2.$$

L'iode ne produit point de précipité.

En contact avec les alcalis, il assimile, en doublant son équivalent, 1 at. d'eau, et se transforme en un acide particulier.

$$2[CCl^2SO^2]+H^2O+KO=C^2\left\{\begin{matrix}Cl^4\\H^2\end{matrix}\right\}S^2O^5,KO.$$

Les composés qui viennent d'être décrits donnent naissance à une série d'acides composés très remarquables par leur composition et par leur stabilité, qui se rapprochent beaucoup de l'acide chloroacétique.

Digitized by Google

Acide hyposulfosesquichlorocarbonique.

$[C^2Cl^6, S^2O^5+H^2O]$.

On obtient cet acide en combinaison avec la potasse en faisant digérer le sulfite de chloride carbonique avec l'alcali. On concentre la liqueur incolore et inodore jusqu'à ce qu'une croûte saline se forme à la surface. Par le refroidissement, le sel $[C^2Cl^6S^2O^5KO]$ cristallise en lames minces et transparentes. Les eaux-mères retiennent beaucoup de chlorure potassique et un peu de sulfate de potasse. En faisant recristalliser les cristaux, ils sont presque entièrement purs.

La réaction se représente facilement par l'équation suivante :

$$2[CCl^4SO^2]+2KO=C^2Cl^6S^2O^5, KO+Cl^2K.$$

Les cristaux du sel potassique contiennent 2 atomes d'eau de cristallisation, qu'ils perdent en s'effleurissant à l'air.

Le sel, desséché à 100° ou dans le vide, est anhydre. Il est soluble dans l'eau et l'alcool, et sa solution a une saveur acerbe et désagréable. Il supporte une température de près de 300° c. sans se décomposer. Chauffé plus fortement, il se décompose exactement en volumes égaux de gaz sulfureux et gaz chloroxicarbonique et en chlorure potassique pur qui reste pour résidu :

$$C^2Cl^6S^2O^5, KO = \begin{cases} 2(COCl^2) & \text{gaz chloroxicarbonique.} \\ 2SO^2 & \text{gaz sulfureux.} \\ Cl^2K & \text{chlorure potassique.} \end{cases}$$

L'acide libre s'obtient le plus facilement au moyen du sel barytique, qu'on décompose exactement par l'acide sulfurique. Il cristallise, par l'évaporation de sa solution, en petits prismes incolores qui, par la dessiccation complète dans le vide, au-dessus de l'acide sulfurique, se transforme en une masse blanche, opaque, inodore, extrêmement déliquescente à l'air.

Elle a pour formule :

$$C^2Cl^6S^2O^5, H^2O+2\ aq.$$

L'acide solide fond à peu près vers 130° dans son eau de cristallisation et commence à bouillir à 160° c., en se volatilisant en partie; mais la majeure partie se décompose en gaz sulfureux, chlorhydrique et chloroxicarbonique.

Cet acide peut être bouilli sans altération avec de l'acide nitrique, de l'eau régale et de l'acide chromique, et déplace complète-

Digitized by Google

ment les acides plus volatils, même l'acide hydrochlorique. Ses sels sont solubles dans l'eau et l'alcool. L'éther correspondant semble ne pas exister.

L'acide libre dissout le zinc, sans dégagement d'hydrogène et en donnant naissance à un sel de zinc contenant un nouvel acide.

Sel de soude.

$[C^2Cl^6S^2O^5, NaO + x\ aq.]$

Il s'obtient comme le sel de potasse, mais est bien plus soluble dans l'eau; il cristallise en lames rhombiques qui s'effleurissent facilement à l'air.

Le *sel ammonique* préparé en neutralisant l'acide par l'ammoniaque cristallise, par l'évaporation spontanée, en gros prismes réguliers, inaltérables à l'air, et qui, par une température élevée, se décomposent en sel ammoniac, en acide sulfureux et gaz chloroxicarbonique.

Sel de baryte.

$[C^2Cl^6S^2O^5, BaO + aq.]$ à 100°.

$[C^2Cl^6S^2O^5, BaO]$ à 150°.

Ce sel s'obtient en faisant digérer de l'eau de baryte dans le sulfite de chloride carbonique; la liqueur neutre filtrée est évaporée à siccité, et le résidu épuisé par l'alcool bouillant absolu, qui ne dissout point le chlorure barytique. La moyenne partie de l'alcool ayant été séparée par distillation, le sel barytique cristallise en paillettes incolores. On l'obtient en lames plus grandes par l'évaporation spontanée de la solution aqueuse. Les cristaux retiennent 1 at. d'eau, même à 100°, et ne le perdent que vers 150°.

Sel d'argent.

$[C^2Cl^6S^2O^5, AgO + 2\ aq.]$ à 15°.

$[C^2Cl^6S^2O^5, AgO]$ à 100°.

Ce sel, préparé directement par l'acide et le carbonate argentique, cristallise en prismes incolores en évaporant sa solution dans le vide, à l'abri de la lumière; il a une réaction acide, une saveur douceâtre métallique, et noircit par l'ébullition et par la lumière. Le sel sec peut être exposé pendant quelque temps aux rayons directs du soleil sans noircir.

Digitized by Google

Sel de plomb.

$[C^2Cl^6S^2O^5, PbO + 2\ aq.]$ à 15°.

$[C^2Cl^6S^2O^5, PbO]$ à 100°.

Préparé directement, il cristallise par l'évaporation spontanée de sa solution en larges lames, qui ont une saveur à la fois douceâtre et acerbe, et qui rougissent le tournesol.

En faisant bouillir le sel neutre avec de l'oxide plombique, on obtient un sel de plomb basique, ayant une faible réaction alcaline, et qui, évaporé dans le vide, se prend en une masse amorphe. Sa solution est troublée par l'acide carbonique de l'air.

Sel de cuivre.

$[C^2Cl^6S^2O^5, CuO + 5\ aq.]$ à 15°.

$[C^2Cl^6S^2O^5, CuO + 3\ aq.]$ à 180°.

Ce sel cristallise en belles tables bleues, inaltérables à l'air, qui perdent 2 at. d'eau de cristallisation à 180°. Les 3 autres atomes d'eau ne se dégagent qu'à une température supérieure par laquelle le sel lui-même commence à s'altérer.

Acide hyposulfochloroformylique.

$[C^2H^2Cl^4, S^2O^5 + H^2O]$.

Les conditions dans lesquelles cet acide se forme sont les suivantes :

1° En dissolvant du zinc dans l'acide hyposulfosesquichlorocarbonique libre, 1 éq. de chlore forme avec le métal un chlorure, tandis que l'hydrogène, au lieu de se dégager, se combine au résidu.

$$C^2Cl^6S^2O^5, H^2O + 2Zn = C^2 \left\{ \begin{matrix} H^2 \\ Cl^4 \end{matrix} \right\} S^2O^5, ZnO + Cl^2Zn.$$

2° En faisant bouillir le sulfite de chlorure carbonique CCl^2SO^2 avec de la potasse.

$$2[CCl^2SO^2] + KO, H^2O = C^2 \left\{ \begin{matrix} H^2 \\ Cl^4 \end{matrix} \right\} S^2O^5, KO.$$

Le sel de potasse préparé directement ou en précipitant le sel de zinc à chaud par du carbonate de potasse, est évaporé à sec et le résidu traité par de l'alcool bouillant de 96 p. c.

Digitized by Google

La liqueur, filtrée bouillante, laisse déposer l'hyposulfochloroformylate potassique en petites écailles nacrées qu'on fait cristalliser à plusieurs reprises dans l'alcool, pour les séparer complétement du chlorure potassique.

Ce nouveau sel est soluble dans l'eau et l'alcool bouillant, presque insoluble dans l'alcool absolu froid ; il est inaltérable à l'air, neutre, et a une saveur faiblement salée. Il supporte sans altération une température de 250° c. ; à une température supérieure, il se décompose en acide sulfureux, acide carbonique, oxide de carbone, et laisse pour résidu du chlorure de potassium contenant un peu de charbon.

$$C^2(H^2Cl^4)S^2O^5, KO = \begin{cases} Cl^2K & \text{chlorure potassique.} \\ 2(SO^2) & \text{ac. sulfureux.} \\ H^2Cl^2 & \text{ac. hydrochlorique.} \\ CO^2 & \text{ac. carbonique.} \\ C & \text{charbon.} \end{cases}$$

Pour obtenir l'acide libre, on précipite la solution alcoolique du sel de potasse par l'acide sulfurique ; on évapore la solution filtrée pour chasser l'acide hydrochlorique qu'elle pourrait contenir, on précipite l'excès d'acide sulfurique par un peu d'eau de baryte, et on évapore la liqueur acide filtrée en consistance sirupeuse. L'éther bouillant en extrait l'acide, qui cristallise dans le vide, au-dessus de l'acide sulfurique, en petits prismes incolores, très déliquescents, qui fondent par l'action de la chaleur et exhalent à l'air d'épaisses vapeurs blanches acides, en laissant un résidu de charbon. Cette décomposition n'a lieu qu'au-dessus de 140°. Cet acide ressemble beaucoup, par ses propriétés, à l'acide précédent ; il décompose les chlorures, et ses sels sont solubles dans l'eau.

Le sel d'argent

$$C^2 \left\{ \begin{matrix} H^2 \\ Cl^4 \end{matrix} \right\} S^2O^5, AgO.$$

préparé directement est, en solution, extrêmement sensible à l'action de la chaleur et de la lumière. Il cristallise dans le vide et dans l'obscurité en petits prismes incolores qui sont anhydres lorsqu'ils ont été desséchés au bain-marie. Ils supportent 150° c. sans s'altérer. Par l'action d'une chaleur plus forte, ils se décomposent comme le sel potassique.

Le *sel ammonique* cristallise, par l'évaporation spontanée de sa solution aqueuse, en grands prismes incolores, transparents et inaltérables à l'air.

Digitized by Google

Acide hyposulfochloro-élaylique.

$$\left[C^2\left\{\begin{matrix}H^4\\Cl^2\end{matrix}\right\}, S^2O^5 + H^2O.\right]$$

Cet acide se forme par l'action ultérieure de l'hydrogène à l'état naissant sur l'acide précédent. Mais l'élimination de ce dernier équivalent 2 chlore se fait bien plus difficilement.

Du zinc métallique se dissout avec dégagement d'hydrogène dans l'acide hyposulfochloroformylique et avec formation de chlorure de zinc : le produit est un mélange d'hyposulfochloroformylate et d'hyposulfochloro-élaylate de zinc. La décomposition est favorisée en augmentant le dégagement d'hydrogène par l'influence d'un autre acide, par exemple l'acide sulfurique ; mais ce n'est que par l'application d'un courant galvanique qu'on arrive à une décomposition complète. Il est important que la liqueur soit toujours acide, sans quoi la décomposition va plus loin, et le dernier équivalent de chlore se trouve également éliminé.

On reconnaît que tout le sel a été transformé en hyposulfochloro-élaylate, lorsque, en calcinant les cristaux secs, l'acide hydrochlorique ne se trouve point parmi les produits volatils de la décomposition.

On sépare facilement ce sel du sultate de zinc et du sulfate de potasse en le dissolvant dans l'alcool.

L'acide hyposulfochloro-élaylique se prépare, au moyen du sel potassique, par le même procédé que l'acide hyposulfochloroformylique ; pour l'avoir pur et incolore, on le transforme en sel plombique soluble, qu'on décompose par l'hydrogène sulfuré.

L'acide

$$\left[C^2\left\{\begin{matrix}H^4\\Cl^2\end{matrix}\right\} S^2O^5, H^2O\right]$$

pur constitue à l'état concentré un liquide sirupeux, très acide, qui supporte 140° sans décomposition, et dont les propriétés ressemblent tout-à-fait à ceux des acides précédents. On ne peut l'obtenir cristallisé, même par un froid de — 16°.

L'équation suivante rend compte de sa formation :

$$C^2\left\{\begin{matrix}H^2\\Cl^4\end{matrix}\right\} S^2O^5, H^2O + H^4 = C^2\left\{\begin{matrix}H^4\\Cl^2\end{matrix}\right\} S^2O^5, H^2O + H^2Cl^2.$$

Les sels sont solubles dans l'eau, et la plupart susceptibles de cristalliser.

Digitized by Google

Sel de potasse.

$$\left[C^2 \left\{\begin{matrix} H^4 \\ Cl^2 \end{matrix}\right\} S^2O^5, KO.\right]$$

Ce sel cristallise de sa solution bouillante alcoolique en petits cristaux aciculaires qui donnent à l'eau-mère l'aspect d'un magma gélatineux.

Les cristaux, séparés par filtration et expression, sont anhydres à 100°; ils s'humectent à l'air sans se liquéfier, et sont presque insolubles dans l'alcool absolu froid. Par la calcination, il y a dégagement de vapeurs d'eau, de gaz sulfureux, et le résidu consiste en chlorure potassique noirci par beaucoup de charbon.

$$C^2 \left\{\begin{matrix} H^4 \\ Cl^2 \end{matrix}\right\} S^2O^5, KO = \begin{cases} 2SO^2 \\ 2H^2O \\ Cl^2K \\ 2C. \end{cases}$$

Une petite quantité de soufre, qui se sublime vers la fin de la calcination, provient probablement de la réduction partielle de l'acide sulfureux par le charbon.

Sel de soude. — Il ressemble beaucoup au sel de potasse, et cristallise, par le refroidissement d'une solution alcoolique bouillante et saturée, en petites aiguilles groupées en étoiles; elles sont déliquescentes, et par conséquent très solubles dans l'eau.

Le *sel ammonique* cristallise dans le vide en longs prismes très déliquescents à l'air.

Sel de plomb.

$$\left[C^2 \left\{\begin{matrix} H^4 \\ Cl^2 \end{matrix}\right\} S^2O^5, PbO + aq.\right] \text{à } 15°.$$

$$\left[C^2 \left\{\begin{matrix} H^4 \\ Cl^2 \end{matrix}\right\} S^2O^5, PbO\right] \text{à } 100°.$$

Ce sel est très soluble dans l'eau, possède une saveur douceâtre et astringente et une réaction acide. Il cristallise, par l'évaporation spontanée, en aiguilles radiées et d'un éclat soyeux. Ces cristaux, desséchés dans le vide, au-dessus de l'acide sulfurique, sont opaques et ont l'aspect effleuri. Dans cet état, ils contiennent 1 at. d'eau de cristallisation, qu'ils ne perdent qu'à 100°.

En faisant bouillir le sel neutre avec de la litharge, on obtient un sel basique à réaction faiblement alcaline.

Digitized by Google

Le *sel de baryte* cristallise en petites lames rhombiques à réaction faiblement acide, et d'une saveur fraîche et salée.

Le *sel d'argent* ne peut être obtenu que difficilement en petits cristaux, très déliquescents et extrêmement sensibles à l'action de la lumière et de la chaleur.

Acide hyposulfométhylique.

$[C^2H^6S^2O^5+H^2O]$.

Cet acide, dans lequel tout le chlore se trouve échangé contre de l'hydrogène, s'obtient au moyen des acides précédents, en décomposant une solution alcaline de sel potassique à l'aide du courant galvanique. M. Kolbe employa une pile de Bunsen de deux paires, et deux lames de zinc servaient d'électrodes.

En employant l'hyposulfosesquichlorocarbonate de potasse, le calcul montre que 70 grammes de ce sel exigent la consommation de 57 grammes de zinc dans la pile.

$$C^2Cl^6S^2O^5, KO+6Zn+6H^2O=\begin{cases} C^2H^6S^2O^5, KO \\ 6ZnO \\ 3H^2Cl^2. \end{cases}$$

On peut encore opérer la décomposition d'une manière analogue à celle dont s'est servi M. Melsens, pour transformer l'acide chloroacétique en acide acétique, c'est-à-dire au moyen d'un amalgame de mercure et de potassium (1 K sur 100 Hg). 1 p. d'hyposulfosesquichlorocarbonate potassique exige son poids de potassium pour sa transformation en hyposulfométhylate.

$$C^2Cl^6S^2O^5, KO+6K+3H^2O \begin{cases} C^2H^6S^2O^6, KO \\ 3Cl^2K \\ 3KO. \end{cases}$$

Quant aux procédés pour obtenir le sel de potasse pur et pour en isoler l'acide, ils sont les mêmes que ceux qui ont déjà été décrits.

L'acide concentré est un liquide acide, sirupeux, inodore, incristallisable, qui ne commence à noircir qu'au-dessus de 130°. Il est aussi puissant que les précédents et donne naissance à des sels solubles et cristallisables.

Sel de potasse neutre.

$[C^2H^6S^2O^5, KO]$.

Ce sel cristallise d'une solution saturée alcoolique de 96 p. c. en

Digitized by Google

aiguilles fines et soyeuses, qui donnent à l'eau-mère l'apparence d'une épaisse gelée. Recueillies sur un filtre, exprimées et desséchées à 100°, elles sont anhydres.

Ce sel est insoluble à froid dans l'alcool absolu, assez peu soluble dans l'alcool bouillant, mais très soluble dans l'eau. La solution aqueuse est neutre.

Par la calcination, il se décompose en bisulfure potassique, charbon, oxide de carbone et eau. Il se forme en même temps une petite quantité d'un produit gazeux, fétide et contenant du soufre.

Sel de potasse acide.

$$2(C^2H^6S^2O^5) + \begin{cases} KO \\ H^2O. \end{cases}$$

Il cristallise facilement en grands prismes à quatre pans, lorsqu'on évapore une solution d'acide hyposulfométhylique contenant de la potasse.

Le *sel ammonique* cristallise, par l'évaporation spontanée dans le vide, en prismes minces, allongés et déliquescents.

Le *sel de baryte* cristallise en belles lames rhombiques, inaltérables à l'air.

Sel d'argent.

$$[C^2H^6S^2O^5, AgO].$$

Ce sel a une saveur douceâtre, métallique, une réaction acide, est anhydre, cristallise en lames transparentes, et est très peu impressionnable à l'action de la chaleur et de la lumière.

Sel de plomb.

$$[C^2H^6S^2O^5, PbO + aq.] \text{ à } 15°.$$

$$[C^2H^6S^2O^5, PbO] \text{ à } 100°.$$

Il cristallise, par l'évaporation spontanée, en gros prismes, d'une réaction faiblement acide et inaltérables à l'air.

Desséchés à 100°, ils s'effleurissent en conservant leur forme.

En le faisant bouillir avec de la litharge, on obtient un sel basique qui, desséché au-dessus de l'acide sulfurique, présente une masse blanche, amorphe, dont la formule est :

$$[C^2H^6S^2O^5, PbO + 2PbO].$$

Le *sel de zinc* se forme avec dégagement abondant d'hydrogène

Digitized by Google

en traitant le zinc par l'acide libre ; il a une réaction acide, et cristallise avec plusieurs proportions d'eau.

M. Kolbe n'a pas réussi à obtenir la combinaison de cet acide avec l'oxide d'éthyle.

De même, il n'obtint pas de résultat satisfaisant en essayant de reproduire par l'action du chlore sur l'acide hyposulfométhylique les acides chlorés précédents.

Acide chloro-acétique.

$[C^4Cl^6O^3+H^2O]$.

M. Kolbe a observé deux modes de formation très intéressants de l'acide acétique.

1° Le chlorure carbonique mis en contact à la fois avec l'eau et le chlore, sous l'influence des rayons solaires, se transforme en grande partie en sesquichlorure de carbone (C^2Cl^6) ; mais en même temps l'eau s'est chargée d'un acide qui n'est autre que l'acide chloro-acétique, et qu'on en retire facilement à l'état cristallisé, en le faisant évaporer dans le vide, au-dessus de la chaux vive. Cette formation est due à la réaction qui s'établit entre l'eau et le sesquichlorure de carbone à l'état naissant, et dont les produits sont de l'acide chlorhydrique et de l'acide chloro-acétique.

$$2(C^2Cl^6)+4H^2O=C^4Cl^6O^3,\ H^2O+3H^2Cl^2.$$

Le sesquichlorure de carbone, une fois formé, n'est plus altéré par l'eau et le chlore, même sous l'influence des rayons solaires.

2° Le chloral $[C^4Cl^6H^2O^2]$ oxidé soit par l'acide nitrique fumant, soit par un mélange de chlorate de potasse et d'acide hydrochlorique, se transforme, en absorbant 2 at. d'oxigène, en acide chloro-acétique. Pour le traitement par l'acide nitrique, on peut employer soit le chloral liquide, ou, ce qui est même préférable, le chlora solide insoluble. On sépare l'acide chloro-acétique formé de la majeure partie de l'excès d'acide nitrique par distillation, et enfin on le fait cristalliser dans le vide, au-dessus de la chaux et de l'acide sulfurique.

Cette réaction, qui correspond tout-à-fait à la transformation de l'aldéhyde en acide acétique, est une nouvelle preuve à l'appui de l'opinion qui considère le chloral comme de l'aldéhyde trichloré :

$$C^4Cl^6O,\ H^2O+O^2 = C^4Cl^6O^3,\ H^2O$$

Chloral. Acide chloracétique.

Digitized by Google

M. Kolbe a observé que, dans la transformation de l'acide chloracétique en acide acétique par l'amalgame de potassium, il fallait employer au moins 6 at. de potassium sur 1 at. de cet acide. En en employant moins, on cherche en vain l'acide acétique dans les produits de la réaction. Il paraîtrait, d'après cela, que l'acide chloracétique passe successivement par tous les composés chlorés intermédiaires entre lui et l'acide acétique.

$[C^4Cl^6O^3, H^2O]$ acide trichloracétique.

$C^4 \left\{ \begin{matrix} H^2 \\ Cl^4 \end{matrix} \right\} O^3, H^2O$ ac. bichloracétique.

$C^4 \left\{ \begin{matrix} H^4 \\ Cl^2 \end{matrix} \right\} O^3, H^2O$ ac. monochloracétique.

$C^4H^6O^3, H^2O$ acide acétique.

Cette opinion est encore confirmée par ce fait, que le zinc se dissout dans l'acide acétique trichloré ($C^4Cl^6O^3, H^{20}$) sans dégagement d'hydrogène, et avec formation de chlorure zincique et d'un sel de zinc, dont l'acide paraît être :

$C^4(Cl^4H^2)O^3, ZnO.$

Note. Nous venons de rapporter ces observations intéressantes en maintenant les noms et les formules adoptées par l'auteur, l'un des défenseurs de la théorie dualistique, et adversaire des types et des substitutions. Cependant, en les envisageant sous ce dernier point de vue, elles sont d'une extrême simplicité et fournissent des preuves puissantes à l'appui de la théorie des types.

En effet, tous ces acides chlorés dérivés des composés $[CCl^4SO^2]$ et $[CCl^2SO^2]$ sont le même acide, dans lequel successivement de l'hydrogène a été remplacé par du chlore; ces acides ont des propriétés tout-à-fait semblables; ils forment des sels également solubles, ayant les mêmes caractères physiques et même, d'après l'observation de M. Kolbe, la même forme cristalline.

On aurait donc la série :

$C^2H^6S^2O^5, H^2O$ acide hyposulfométhylique.

$C^2 \left\{ \begin{matrix} H^4 \\ Cl^2 \end{matrix} \right\} S^2O^5, H^2O$ ac. hyposulfométhyl. monochloré.

$C^2 \left\{ \begin{matrix} H^2 \\ Cl^4 \end{matrix} \right\} S^2O^5, H^2O$ ac. hyposulfométhyl. bichloré.

$C^2Cl^6S^2O^5, H^2O$ ac. hyposulfométhylique trichloré.

Quant à la nature de ces acides, ils appartiennent évidemment à la classe des acides copulés avec l'acide sulfurique, qui forment

Digitized by Google

tous des sels de baryte, de plomb et d'argent solubles. Ils sont surtout intéressants parce qu'ils offrent une copule extrêmement simple combinée avec l'acide sulfurique.

Dans la transformation de

$$2(CCl^2SO^2)+H^2O$$

en un acide :

$$\left[C^2 \left\{ \begin{matrix} Cl^4 \\ H^4 \end{matrix} \right\} S^2O^5, \right]$$

nous observons un phénomène analogue à celui qui se produit avec l'isatine, qui, en contact avec une base hydratée, se transforme en acide isatinique en se combinant avec 1 at. d'eau : seulement, dans le premier cas, ce sont 2 at. du corps CCl^2SO^2 qui se combinent avec 1 at. d'eau pour constituer l'acide.

Le nom d'acide hyposulfométhylique semble ne pas pouvoir être conservé, n'étant pas conforme à la nomenclature adoptée en pareil cas ; en effet, lorsqu'un acide copulé prend naissance par l'action de l'acide sulfurique sur un hydrogène carboné, on conserve à l'acide le nom de cet hydrogène carboné.

Ainsi, la naphtaline donne naissance à l'acide sulfonaphtalique, le benzène à l'acide sulfobenzinique, le cumène à l'acide sulfocuménique, etc. Or, l'acide ($C^2H^6S^2O^5$, H^2O) résulte de l'action de $2SO^3$ sur C^2H^8 hydrogène protocarboné.

$$C^2H^8+2SO^3=C^2H^6S^2O^5,\ H^2O.$$

M. Gerhardt a donné le nom de *formène* à l'hydrocarbure CH^4 ; en suivant les règles et les notations qu'il a indiquées dans son Traité de chimie organique, et qui permettent de représenter les faits de la manière la plus simple et la plus exempte d'hypothèse, on aura :

L'acide $C^2H^6S^2O^5$, $H^2O=C^2H^8S^2O^6=CH^4SO^3$ acide sulfoforménique ; en effet, il résulterait de l'action de l'acide sulfurique, SO^4H^2, sur le formène ; l'acide sulfurique bibasique, en s'accouplant, donne naissance à l'acide copulé monobasique, en même temps qu'il y a élimination d'eau.

$$CH^4+SO^4H^2=[CH^4SO^3]+[H^2O].$$

Dans cet acide sulfoforménique $[CH^4SO^3]$, 1 éq. d'hydrogène peut être remplacé par 1 éq. de métal.

Digitized by Google

$C(H^3M)SO^3$ sulfoforménates.
$C(H^3K)SO^3$ sulfoforménate potassique.

L'acide

$$C^2 \left\{ \begin{matrix} H^4 \\ Cl^2 \end{matrix} \right\} S^2O^5, H^2O = C^2(H^6Cl^2)S^2O^6 = C(H^3Cl)SO^3 =$$

acide sulfoforménique monochloré.

$C(H^2ClM)SO^3 =$ sulfoforménate monochloré.
$C(H^2ClK)SO^3 =$ sulfoforménate potassique monochloré.

L'acide

$$C^2 \left\{ \begin{matrix} H^2 \\ Cl^4 \end{matrix} \right\} S^2O^5, H^2O(H^4Cl^4)S^2O^6 = C(H^2Cl^2)SO^3 = C^2 .$$

acide sulfoforménique bichloré.

$C(HCl^2M)SO^3 =$ sulfoforménate bichloré.
$C(HCl^2K)SO^3 =$ sulfoforménate potassique bichloré.

L'acide

$$C^2Cl^6S^2O^5, H^2O = C^2(Cl^6H^2)S^2O^6 = C(Cl^3H)SO^3 =$$

acide sulfoforménique trichloré.

$C(Cl^3M)SO^3 =$ sulfoforménate trichloré.
$C(Cl^3K)SO^3 =$ sulfoforménate potassique trichloré.

Recherches sur l'ozone, par Williamson.

(Ann. der Chem. u. Pharm. v. Liebig et Woehler, 1845, numéro 4.)

On sait que l'oxigène qui se dégage dans les décompositions opérées au moyen de la pile galvanique possède une odeur particulière assez désagréable, dont la cause véritable échappait à l'investigation des physiciens. On l'attribua à une matière particulière inconnue, à laquelle on donne le nom d'ozone. M. Schoenbein, à la suite d'expériences peu concluantes, annonça que l'ozone était un corps simple, gazeux, analogue au chlore, et qui provenait de l'azote; il veut, par conséquent, avoir décomposé ce corps, qu'on considère généralement comme simple, et en avoir isolé l'un des éléments. M. Marignac démontra bientôt (*Comptes-rendus de*

Digitized by Google

l'Acad. des sc., mars 1845), par des expériences directes, que les phénomènes attribués à l'ozone n'avaient aucun rapport avec la présence de l'azote; il montra que l'ozone se produisait aussi bien dans la décomposition des substances non azotées que dans celle des matières azotées. Il décomposa de l'eau à l'abri du contact de l'air par le courant galvanique, et trouva que même, après plusieurs jours, les trois quarts de la liqueur s'étant décomposés en gaz, l'odeur d'ozone était aussi sensible qu'au commencement de l'expérience; mais il s'accorda à reconnaître avec M. Schoenbein que la matière odorante qui se fait remarquer dans la combustion lente du phosphore dans l'air était identique avec celle contenue dans l'oxigène obtenu par voie électrolytique.

Il se servit en conséquence d'air atmosphérique qui avait passé sur le phosphore, pour constater les propriétés de l'ozone.

M. Williamson fit les expériences suivantes, pour éclairer la question.

De l'eau, contenant un quart de son volume d'acide sulfurique, fut décomposée par une pile de Bunsen de quatre éléments. L'oxigène qui se dégageait d'un électrode en platine fut recueilli dans une petite cloche tubulée, d'où il traversa un tube en chlorure calcique pour le dessécher, et se rendit de là dans un tube chauffé au rouge contenant des fragments de cuivre métallique. On aperçut bientôt à l'extrémité froide du tube de la vapeur d'eau condensée, qui reparaissait aussi longtemps qu'on faisait arriver de l'oxigène azonisé. Cet oxigène étant arrivé sec sur le cuivre, l'eau avait dû se former par l'action réductrice de ce métal.

Pour éviter toute objection, on se servit de cuivre oxidé à l'air par le grillage et réduit ensuite par un courant d'oxide de carbone sec, et on dégagea dans une seconde expérience l'oxigène d'une solution de sulfate de cuivre dans laquelle l'hydrogène étant employé à la réduction de l'oxide de cuivre, aucune trace de ce gaz ne pouvait accompagner l'oxigène.

On obtint encore de l'eau à l'extrémité du tube contenant le cuivre.

De l'oxigène azonisé desséché perdait son odeur en passant à travers un tube en verre porté au rouge; en adaptant à l'extrémité de ce tube un appareil au chlorure calcique, on constata bientôt une augmentation de poids due à la condensation de l'eau.

L'éponge de platine a la propriété de retenir la matière odorante de l'oxigène azonisé.

L'eau traversée par un courant d'oxigène azonisé en contracte l'odeur, bleuit un papier amidonné imprégné d'iodure de po-

Digitized by Google

tassium, et produit un précipité bleu avec une solution de sulfate ferreux et de cyanure ferrosopotassique.

De l'eau de chaux traversée par le courant d'oxigène donna un précipité grenu. La liqueur contenant le précipité ne réagissait pas sur le papier d'amidon ioduré, mais il y eut sur-le-champ réaction par l'addition d'un acide.

En faisant passer l'oxigène azonisé à travers un tube refroidi à — 40°, il ne se condensa aucune matière appréciable.

Ces résultats semblent indiquer :

Que les propriétés particulières dont jouit l'oxigène azonisé sont dues à son mélange avec un suroxide, ou en général avec une combinaison supérieure de l'hydrogène avec l'oxigène.

Cette combinaison n'est point de l'eau oxigénée, qui est inodore, ainsi que l'oxigène qu'on dégage par voie chimique : en décomposant l'eau oxigénée par la pile, on obtient un oxigène très azonisé.

L'ozone a la propriété de décolorer le papier de tournesol, même desséché.

Une série d'autres expériences démontrèrent que l'oxigène qui passe sur le phosphore ne contient point d'azone, mais de l'acide phosphoreux ou de l'acide phosphorique.

En faisant passer cet oxigène dans l'eau, on n'obtient qu'une dissolution étendue d'acide phosphorique dans ce liquide, qui ne bleuit point le papier d'amidon ioduré et ne décolore pas la teinture de tournesol.

Si le papier d'amidon humide est bleui par le courant d'oxigène qui a passé sur le phosphore, cela provient de ce que l'acide phosphorique met l'acide hydriodique en liberté, lequel, avec l'oxigène, se transforme en eau et en iode libre.

Sur la décomposition de quelques oxides et de plusieurs sels par le chlore, par M. Williamson.

(Ann. der Chem. u. Pharm. v. Liebig et Woehler, 1845, numéro 4.)

Les oxides moins puissants, tels que la baryte, la strontiane, la chaux, soumis à l'action du chlore, donnent lieu à une réaction très simple. Il se forme un chlorure et de l'acide hypochloreux. Si le chlore n'est point en excès, on a dans la liqueur à la fois un chlorure et un hypochlorite.

$$2BaO + 2Cl^2 = Cl^2Ba + Cl^2O, BaO.$$

Digitized by Google

Si le chlore est en excès, il déplace tout l'acide hypochloreux, qui reste libre, et la liqueur ne contient que du chlorure.

$$BaO + Cl^4 = Cl^2Ba + Cl^2O.$$

Une liqueur contenant 1 éq. de baryte peut donc absorber 2 équiv. de chlore..

La preuve qu'un excès de chlore met tout l'acide hypochloreux en liberté, c'est que l'eau de baryte, saturée de chlore, n'est nullement précipitée par un courant d'acide carbonique, qui trouble cependant fortement une solution d'hypochlorite barytique.

Les oxides puissants, potasse, soude, éprouvent d'abord une décomposition analogue, formation de chlorure et d'acide hypochloreux; mais à cause de l'affinité de l'acide chlorique pour ces oxides, l'acide hypochloreux réagit rapidement sur le chlorure formé, et en transforme une partie en chlorate.

C'est la raison pour laquelle une solution de 1 éq. de potasse ou de soude n'absorbe jamais que moins de 2 équiv. de chlore, et d'autant moins que la liqueur est plus concentrée, c'est-à-dire qu'il se forme plus rapidement du chlorate.

En traitant les carbonates alcalins par le chlore, l'acide hypochloreux est libre dès le moment de sa naissance, cet acide n'ayant pas la propriété de décomposer les carbonates.

Il se forme donc d'abord du chlorure, du bicarbonate et de l'acide hypochloreux libre. Un excès de chlore décomposant le bicarbonate met l'acide carbonique en liberté et forme de nouveau un chlorure et de l'acide hypochloreux libre; mais ce dernier réagissant sur le chlorure formé, détermine bientôt la formation de chlorate, et d'autant plus rapidement que la base est plus puissante.

En traitant du carbonate de chaux délayé dans quarante fois son poids d'eau, par un courant de chlore, le carbonate se dissout avec effervescence, et donne naissance à du chlorure calcique et à de l'acide hypochloreux. En distillant rapidement la liqueur, on peut condenser ce dernier dans le récipient et le concentrer ensuite par une nouvelle distillation.

En faisant passer du chlore dans une solution de phosphate de soude ordinaire (phosphate tribasique), on obtient une liqueur fortement décolorante. En la distillant, l'acide hypochloreux se condense dans le récipient, et le résidu de la cornue fortement acide est un mélange de métaphosphate sodique et de chlorure sodique.

Le pyrophosphate de soude (bibasique) éprouve dans les mêmes circonstances une décomposition analogue.

Digitized by Google

Une solution de sulfate de soude traitée par un excès de chlore donne naissance à de l'acide hypochloreux, du sulfate acide de soude et du chlorure sodique.

Le sulfates suivants éprouvent une décomposition analogue plus ou moins complète: alun, sulfates de zinc, manganèse, d'oxide ferrique, de cuivre.

L'acétate de plomb se décompose en chlorure et en suroxide plombique; l'acide acétique est mis en liberté.

Le chromate de potasse absorbe beaucoup de chlore; en distillant, on obtient de l'acide hypochloreux, et le résidu fournit du chromate de chlorure potassique.

Le borate de soude est complétement décomposé par le chlore; on obtient de l'acide borique cristallisé et du chlorure sodique.

Sur le sous-oxide d'antimoine et l'hydrogène antimonié, par M. Marchand.

(Journ. f. prakt. Chemie, 1845, numéro 6.)

On obtient très facilement et en quantité considérable le sous-oxide d'antimoine en décomposant une solution assez concentrée d'émétique par une forte pile de Grove ou de Bunsen. Il se dégage abondamment des gaz, dus non seulement à la décomposition de l'eau, mais aussi à celle de l'acide tartrique, et en même temps il se dépose au pôle positif une poudre noire qui recouvre la plaque de platine et s'en détache plus tard en grandes masses.

Cette poudre, recueillie sur le filtre et lavée à l'eau bouillante, présente, après la dessiccation au-dessus de l'acide sulfurique, une matière pulvérulente d'un noir velouté qui, examinée au microscope, possède un aspect parfaitement homogène.

Frottée avec le brunissoir, elle prend l'éclat métallique.

Ce sous-oxide, bouilli avec de l'acide hydrochlorique, se décompose en métal et en oxide qui se dissout; la couleur noire disparaît, et l'on voit apparaître des parcelles grises, métalliques, appréciables déjà à l'œil nu.

Une solution de nitrate de potasse agit comme l'acide hydrochlorique.

Ce composé retient fortement une petite quantité d'eau, qu'on ne peut en dégager qu'avec beaucoup de difficultés.

Chauffé au contact de l'air, il devient incandescent et se convertit sans dégagement de vapeurs en oxide d'antimoine (Sb^2O^3); en chauf-

Digitized by Google

fant plus fortement, il se forme de l'acide antimonieux ou plutôt de l'antimoniate d'oxide d'antimoine.

La chaleur seule le transforme en antimoine métallique et en oxide d'antimoine, qui tous les deux fondent.

L'analyse basée sur cette dernière réaction a donné, pour ce sous-oxide, les résultats suivants :

	Calcul.	Expérience.	
Antimoine,	92,37	92,91	92,51
Oxigène,	7,63		
	100,00		

qui correspondent à la formule :

Sb^3O^2.

En décomposant une solution concentrée de sel ammoniac par une forte pile, de manière que le pôle négatif soit formé par une lame d'antimoine, on obtient dans certaines circonstances un gaz qui est probablement de l'hydrogène antimonié spontanément inflammable.

On opère le mieux de la manière suivante :

Dans un vase plat en porcelaine à parois perpendiculaires peu élevées et dont le fond est couvert d'une solution concentrée de sel ammoniac, on place un bâton d'antimoine assez épais pour ne pas être recouvert entièrement par le liquide. On le fait communiquer avec le pôle négatif de la pile ; à côté de lui on place le pôle positif, formé par un fil épais de platine. Il y a sur-le-champ dégagement tumultueux du gaz ; des flocons noirs (probablement un hydrure d'antimoine) se détachent de l'antimoine, et en même temps commencent de petites détonations qui deviennent d'autant plus fortes que les bulles de gaz sont plus grandes. Le gaz brûle avec une flamme brillante et en dégageant des vapeurs blanches.

Composition du spath chlorite (*chloritoïde*), par M. Gerathewohl.

(Journ. f. prakt. Chemie, 1845, numéro 8.)

Ce minerai, décrit par Fiedler, fut analysé d'abord par M. Erdmann (*Journ. f. pract. Chem.*, t. VI, p. 89), plus tard par M. Bonsdorff (*Voyage de G. Rose dans l'Oural*, t. I, p. 252), mais avec des

Digitized by Google

résultats si différents, que M. Rammelsberg fit observer que ces deux chimistes avaient probablement analysé deux minerais différents. M. Geräthewohl exécuta son analyse sur un échantillon étiqueté par M. Fiedler lui-même.

Le minerai, chauffé dans un tube, ne fournit que des traces d'eau, provenant de l'hydrate d'oxide ferrique adhérent, et qu'on n'observe plus en purifiant la matière par un traitement par l'acide hydrochlorique qui n'attaque nullement le minerai.

La minerai grillé fonce en couleur et prend finalement une teinte rouge-brun, mais sans fondre.

Le silice est difficile à reconnaître, le sel de phosphore dissolvant, quoique avec lenteur, le minéral, sans laisser de squelette siliceux. La perte montre la réaction du fer.

Avec le borax, on obtient une perle d'un vert foncé, qui s'éclaircit par le refroidissement.

Avec la soude sur du charbon, le minerai gonfle un peu; sur la lame de platine, on aperçoit des traces de manganèse.

Le minerai est inattaquable par les acides nitrique et hydrochlorique, qui en séparent l'oxide de fer et l'alumine adhérente mécaniquement.

L'analyse qui confirma celle de M. Erdmann donne les résultats suivants :

	Gerathewohl.	Erdmann.
Silice,	24,40	24,93
Oxide ferreux,	30,29	30,05
Alumine,	45,17	45,02
	99,86	100,00

Elle correspond à la formule :

$$[SiO^3, 3FeO + SiO^3, 3Al^2O^3],$$

ou bien :

$$[Al^2O^3, 3FeO + 2(SiO^3. Al^2O^3)].$$

M. Bonsdorff avait déduit de ses analyses la formule suivante :

$$\left.\begin{matrix}3FeO\\3MgO\end{matrix}\right\} SiO^3 + 2Al^2O^3, SiO^3 + 9\ aq.$$

Digitized by Google

Observations sur la composition du fer titané et de la tantalite, par M. Scheerer.

(Ann. v. Pogg., 1845, numéro 3.)

En traitant un fer titané de Hitteroë réduit en poudre fine par de l'acide sulfurique concentré, M. Scheerer observa qu'il prenait une couleur bleue foncée pure; l'acide, décanté avec précaution de la poudre bleue, ne contenait que des traces de fer (les sulfates ferreux et ferrique étant presque insolubles dans l'acide sulfurique concentré) et point d'acide titanique. Les deux circonstances, la coloration bleue et la non-solution d'acide titanique, qui cependant se dissout dans l'acide sulfurique, parlent en faveur de l'opinion qui admet, non l'acide titanique, mais l'oxide de titane dans le fer titané. Le même phénomène se produisit avec des fers titanés d'Egerscend, de Twedestrend, de Snarum, d'Iserwièse, etc.

La poudre bleue était composée d'acide sulfurique, de fer oxidé et de titane oxidé.

En la délayant dans de l'eau, elle fut dissoute peu à peu, et la solution contenait maintenant de l'oxide ferrique, de l'oxide ferreux et de l'acide titanique.

En précipitant ces trois corps par la potasse, filtrant, exprimant et ajoutant de l'acide sulfurique concentré, on n'obtient plus une poudre bleue, mais une matière blanche. Evidemment, dans l'acte de la dissolution de la poudre bleue, l'oxide de titane s'était oxidé aux dépens de l'oxigène de l'oxide ferrique, qu'il avait ramené à l'état d'oxide ferreux, tandis que lui-même passait à celui d'acide titanique. La formule du fer titané doit donc être :

$$Fe^2O^3 + Ti^2O^3.$$

On n'observe point de coloration bleue en attaquant le fer titané par l'acide chlorhydrique concentré, par la raison que le chlorure ferrique étant soluble dans l'acide chlorhydrique, l'oxide de titane peut sur-le-champ se suroxider aux dépens de l'oxide ferrique dissous.

En traitant le sphène, polymignate, polykras, aeschynet, ultrotitanie, rutel et anatas par l'acide sulfurique concentré, celui-ci dissout toujours une quantité notable d'acide titanique.

En faisant digérer le tantalite de Bodenmais réduite en poudre très fine avec l'acide sulfurique concentré, on obtient également une poudre bleue, mais qui semble s'oxider bien plus facilement que

Digitized by Google

celle du fer titané; en effet, même recouverte d'acide sulfurique concentré, elle devient peu à peu blanche.

La décoloration a lieu presque immédiatement en ajoutant de l'eau.

Nouveaux métaux terreux contenus dans les zircons, par Svanberg.

(Ann. v. Pogg., 1845, numéro 6.)

En examinant avec soin la zircone retirée des différents zircons de Sibérie, de Norwége, de Ceylan et l'hyacinthe d'Expailly, M. Svanberg, conjointement avec M. Norlin, s'est assuré qu'elle n'était point une terre simple, mais un mélange de plusieurs oxides ayant une très grande analogie.

En leur assignant la formule (R^2O^3), leur poids atomique varie entre 938 et 1320. Le métal d'un de ces oxides a reçu le nom de *norium*.

On remarque que déjà les différents zirçons possèdent des densités et des duretés différentes.

Les oxalates et chlorures des terres de la zircone possèdent une solubilité différente dans les acides.

Les sulfates très acides cristallisent l'un plus facilement que l'autre et avec des formes différentes.

Les sulfates neutres se comportent différemment sous l'influence d'une température élevée.

Enfin, ils forment des chlorures doubles différents avec les chlorures des bases alcalines.

Sur le poids atomique du soufre et de l'or, par M. Berzélius.

(Ann. v. Pogg., 1845, numéro 6.)

En examinant la moyenne des résultats obtenus en calculant le poids atomique d'après la composition du sulfate de plomb, M. Berzélius a fixé le poids atomique du soufre à 200,8.

La transformation du chlorure d'argent en sulfure, au moyen de l'hydrogène sulfuré, lui a fourni le nombre 200,75.

Le poids atomique de l'or, basé sur l'analyse du chlorure double aurico-potassique bien cristallisé:

$$Cl^2K + Cl^6Au^2,$$

Digitized by Google

a été trouvé égal à :

$$2458{,}33 = Au^2$$
$$1229{,}16 = Au.$$

L'analyse fut faite en décomposant le sel double bien desséché par un courant d'hydrogène ; il se transforme en or métallique et chlorure potassique, qu'on peut séparer avec la plus grande précision.

CHIMIE ORGANIQUE.

Action des alcalis sur le quinon, par M. Woskressensky.

(Journ. f. prakt. Chemie, 1845, numéro 4.)

Le quinon, soumis à l'action d'un courant de gaz ammoniac sec, perd de l'eau et se transforme en une masse verte, cristalline. C'est la *quinonamide* qui résulte de la combinaison du quinon avec 2 éq. d'ammoniaque, moins 2 éq. d'eau.

$$C^{24}H^{16}O^8 + H^{12}N^4 = C^{24}H^{24}O^6N^4 + H^4O^2$$
Quinon. Quinonamide.

M. Woskressensky lui assigne la formule :

$$C^{25}H^{24}O^6N^4.$$

Cette matière, en contact avec l'eau, fournit une solution brune, presque noire, renfermant des produits de décomposition.

Une solution de quinon, rendue alcaline, absorbe l'oxigène avec une extrême avidité, devient brune et finalement noire ; l'addition d'un acide y provoque un précipité volumineux, noir, ressemblant à l'acide humique, auquel M. Woskressensky assigne la composition $C^{25}H^{18}O^{13}$; mais son analyse correspond bien mieux avec la formule $C^{24}H^{16}O^{14}$. La même substance se produit encore en traitant l'hydroquinon incolore et les cristaux verts par les alcalis.

Elle résulte de la combinaison de 3 at. d'oxigène avec le quinon = (quinoïle).

$$[C^{12}H^8O^4 + O^3 = C^{12}H^8O^7]$$
Quinon. Ac. quinoïlique.

Digitized by Google

Sur la composition de l'oxalate et du nitrate d'urée, par M. Marchand.

(Journ. f. prakt. Chemie, 1845, numéro 4.)

L'oxalate d'urée cristallisé contient 3 at. d'eau, dont il peut perdre 2 at. (14,6 p. c.) en le chauffant avec précaution de 110 — 120°.

La composition du sel est alors la suivante :

Acide oxalique,	34,28
Urée,	57,14
Eau,	8,58
	100,00

A une température qui dépasse 120°, l'oxalate d'urée se décompose totalement, sans perdre son troisième atome d'eau. On a donc :

Oxalate d'urée cristallisé :

$$C^2O^3+C^2N^4H^8O^2+3H^2O;$$

Oxalate d'urée desséché à 100° :

$$C^2O^3+C^2N^4H^8O^2+H^2O.$$

Quant au tartrate d'urée, il existe, d'après M. Marchand, plusieurs combinaisons d'acide nitrique avec l'urée.

En précipitant de l'urée par un excès d'acide nitrique, on obtient un sel qui, bien exprimé et desséché à 110 — 120°, a pour formule :

$$2N^2O^5+C^2H^8N^4O^2+H^2O,$$

et contient :

61,09 d'acide nitrique,
33,89 d'urée,
5,02 d'eau.

En séchant cette combinaison à 140°, elle devint :

$$(2N^2O^9+C^2H^8N^4O^2).$$

En ajoutant de l'urée à la dissolution du sel précédent, les cristaux formés contenaient 55,67 p. c. d'acide nitrique et avaient,

Digitized by Google

après avoir été séchés à 110°, une composition représentée par la formule :

$$3N^2O^5+2C^2H^8N^4O^2+H^2O.$$

En ajoutant de nouveau de l'urée aux eaux-mères de ce sel, on obtint une combinaison contenant 44,1 p. c. d'acide nitrique, et 48,7 p. c. d'urée, et qui n'éprouvait pas de perte de poids à 110°. C'était le sel neutre analysé par M. Regnault.

$$N^2O^5+C^2H^8N^4O^2+H^2O.$$

Sur l'acide sulfosulfamylique, par M. Gerathewohl.

(Journ. f. prakt. Chemie, 1845, numéros 7 et 8.)

L'acide sulfosulfamylique est le produit principal de l'action de l'acide nitrique sur le mercaptan amylique. Ce mercaptan fut préparé en convertissant de l'huile de pommes de terre bouillante à 131°, en sulfamylate de potasse, dont la solution, mélangée avec de la potasse caustique et traitée par l'hydrogène sulfuré, fut distillée avec précaution. Le point d'ébullition de mercaptan pur fut trouvé = 117 — 118° (M. Balard indique 125°). Du mercaptide anylique de chlorure ayant été préparé dans le but de purifier le mercaptan, M. Gerathewohl constata que ce sel est décomposé, quoique avec difficulté, par l'acide chlorhydrique et par l'hydrogène sulfuré.

En faisant réagir le mercaptan amylique sur de l'acide nitrique d'une densité = 1,25, à l'aide d'une douce chaleur, il y a oxidation très énergique et dégagement de beaucoup de vapeurs rutilantes. Pour éviter une perte de mercaptan, il ne faut ajouter que peu à peu l'acide. La réaction étant terminée on a deux couches de liquide, l'inférieure très acide et aqueuse, la supérieure huileuse, d'une couleur jaunâtre. Cette dernière ne présente pas une composition constante, et son étude n'a point été faite.

La solution, évaporée au bain-marie pour chasser l'acide nitrique, laisse un résidu incolore, épais et sirupeux, qui est un mélange d'acide sulfurique et d'acide sulfosulfamylique.

Il peut servir directement pour la préparation de sulfosulfamylates, ces sels étant solubles dans l'alcool, tandis que les sulfates y sont solubles.

L'acide sulfosulfamylique pur, obtenu par la décomposition du

Digitized by Google

sel de plomb par l'hydrogène sulfuré, est un liquide incristallisable, sirupeux, très acide et d'une odeur *sui generis*.

$$[C^{10}H^{22}O^4S^2+2H^2O].$$

Sulfosulfamylate barytique.

$$C^{10}H^{22}O^4S^2+BaO+H^2O.$$

Ce sel, soluble dans l'eau et l'alcool, cristallise en paillettes incolores, d'un aspect gras, et qui, projetées sur l'eau, produisent des mouvements analogues à ceux qu'on observe avec le butyrate de baryte. 10 p. d'eau dissolvent 1 p. de sel à 19° c.

Il supporte une température assez élevée (supérieure à 160°) sans se décomposer. Il perd de l'eau déjà à 100°.

La formule citée s'applique au sel desséché à 120°.

Sulfosulfamylate plombique.

$$C^{10}H^{22}O^4S^2+PbO+H^2O \text{ à } 120°.$$

Sel soluble dans l'eau et l'alcool, cristallisable en groupes rayonnés et lamelleux. Chauffé jusqu'à 120°, il ne perd que de l'eau sans subir d'autre altération. Le sel cristallisé et desséché entre des feuilles de papier paraît contenir 10 atomes d'eau de cristallisation.

Sulfosulfamylate argentique.

$$C^{10}H^{22}O^4S^2+AgO \text{ ?}$$

Obtenu en saturant l'acide par du carbonate argentique, il cristallise, lorsque la liqueur est convenablement concentrée, en belles tables rhombiques, incolores; une solution trop concentrée se prend en masse gélatineuse par le refroidissement (ce qui a lieu pour la plupart des autres sels).

L'analyse de ce sel ne fournit point des résultats bien concordants.

Les sulfosulfamylates de potasse d'ammoniaque et de chaux cristallisent en lames incolores, solubles dans l'alcool.

Le sel de cuivre se présente en tables bleu verdâtre, qui, dans le vide au-dessus de l'acide sulfurique, s'effleurissent et deviennent opaques en perdant de l'eau.

[*Nota.* En comparant les calculs avec les résultats de l'expérience,

Digitized by Google

on remarque que dans toutes les analyses on a trouvé moins d'hydrogène, et un poids atomique un peu moins élevé que celui exigé par les formules citées. En admettant la formule :

$$C^{10}H^{20}S^2O^4 + 2H^2O,$$

ou plus simplement :

$$C^5H^{10}SO^2 + H^2O$$

pour la formule de l'acide sulfosulfamylique, l'accord entre le calcul et l'expérience est plus satisfaisant.]

Sur la toluïdine, nouvelle base organique, par MM. Muspratt et Hoffmann.

(Ann. der Chem. u. Pharm. v. Lieb. et Woeh., 1845, numéro 4.)

La *toluïdine* est le produit de l'action du sulfure ammonique sur la nitrotoluïdine (protonitrobenzoène). C'est la même réaction par laquelle M. Zinin avait obtenu deux bases au moyen de la *nitronaptalase* et de la *nitrobenzide*. Ces corps, sous l'influence de l'hydrogène, perdent tout leur oxigène, et se transforment, en s'assimilant de l'hydrogène, en de nouveaux composés possédant tous les caractères d'une base.

La nitronaptalase donne naissance à la naptalidine, et la nitrobenzide à l'aniline.

Nitronaptalase	$=C^{20}H^7NO^4$	$=C^{20}$	$\begin{cases} H^7 \\ NO^4 \end{cases}$
Naphtalidine	$=C^{20}H^9N$	$=C^{20}$	$\begin{cases} H^7 \\ Ad=NH^3 \end{cases}$
Nitrobenzide	$=C^{12}H^5NO^4$	$=C^{12}$	$\begin{cases} H^5 \\ NO^4 \end{cases}$
Aniline	$=C^{12}H^7N$	$=C^{12}$	$\begin{cases} H^5 \\ Ad=NH^2 \end{cases}$

(C=75) (H=12,50) (N=176).

Il est probable que ce procédé, appliqué aux divers composés résultant de l'action de l'acide nitrique sur les hydrogènes car-

Digitized by Google

bonés, permettra d'obtenir un grand nombre de bases artificielles non oxigénées.

Cette prévision s'est réalisée pour le *toluol* ou *benzoène*.

Préparation du toluol.

Ce produit fut découvert par M. Deville (*Ann. de chim. et phys.*, 3e série, t. III, p. 168) parmi les produits de la distillation sèche du baume de tolu, et nommé par lui benzoène : M. Berzélius propose de changer ce nom en celui de toluïne ou toluol.

En distillant le baume de tolu, on obtient d'abord un peu d'eau, puis, à une température supérieure, une grande quantité d'acide benzoïque (contenant un peu d'acide cinnamique) qui se solidifie dans le récipient; elle est mélangée d'une matière huileuse, qui devient de plus en plus abondante à mesure que la distillation avance, de manière que le produit finit par rester entièrement liquide.

Ce liquide est, d'après M. Deville, un mélange de toluol et d'éther benzoïque. On le soumet à une nouvelle distillation en ne recueillant que ce qui passe entre 130 et 140° c. Pour enlever enfin les dernières traces d'acide et d'éther benzoïque, on rectifie le produit à plusieurs reprises sur de la potasse caustique.

La quantité de toluol ($C^{14}H^8$) ainsi obtenue n'est que très petite relativement à la quantité de baume de tolu employée, le salicylate méthylique se transformant, sous l'influence de la baryte, en anisol et en acide carbonique.

$$\underset{\text{Salicylate méthylique.}}{C^{16}H^8O^6} + 2BaO = \underset{\text{Anisol.}}{C^{14}H^8O^2} + 2(CO^2, BaO)$$

MM. Musprat et Hofmann essayèrent de produire la réaction analogue avec le benzoate méthylique :

$$\underset{\text{Benzoate méthylique.}}{C^{16}H^8O^4} + 2BaO = \underset{\text{Toluol.}}{C^{14}H^8} + 2(CO^2, BaO).$$

Mais l'expérience donna un résultat négatif. On obtint du benzol (benzine) $C^{12}H^6$, et probablement encore du gaz hydrogène carboné, d'après la formule suivante :

$$\underset{\text{Benzoate méthylique.}}{C^{16}H^8O^4} + 2BaO = \underset{\text{Benzol.}}{C^{12}H^6} + \underset{\text{Hyd. carb.}}{C^2H^2} + 2(CO^2, CaO)$$

Digitized by Google

Préparation de la toluïdine.

Le toluol traité par l'acide nitrique concentré se transforme en nitrotoluid ($C^{14}H^7NO^4$), qui est un corps liquide analogue à la nitrobenzide.

On le dissout dans de l'alcool saturé d'ammoniaque, et on y fait passer un courant d'hydrogène sulfuré.

En abandonnant le tout, on obtient au bout de quelques jours une belle cristallisation de soufre, et l'odeur d'hydrogène sulfuré a entièrement disparu. On sature de nouveau la liqueur de ce gaz, et on continue ainsi jusqu'à ce qu'il cesse de disparaître. Cette méthode, quoique très commode, exige un temps très long, qu'on peut abréger en favorisant la réaction par une élévation de température et en distillant les liqueurs.

Presque toujours une petite quantité de nitrotoluid échappe à la réduction.

$$C^{14}H^7NO^4 + 6HS = C^{14}H^9N + 4HO + 6S$$

Nitrotoluid. Toluïdine

Pour isoler la toluïdine, on sature la liqueur par de l'acide hydrochlorique, et on évapore au tiers pour chasser l'alcool. En soumettant le résidu à la distillation avec de la potasse caustique, il se condense dans le récipient, outre l'eau et l'ammoniaque, une huile incolore ou légèrement jaunâtre, qui tombe au fond et ne tarde pas à se prendre en masse cristalline : c'est la toluïdine. Pour la purifier, on sature le produit total de la distillation avec de l'acide oxalique, on évapore à sec au bain-marie, et on traite le résidu solide par l'alcool absolu bouillant, qui dissout l'oxalate de toluïdine et laisse pour résidu l'oxalate ammonique. Par le refroidissement, presque tout le sel dissous se dépose en belles aiguilles blanches.

On les lave un peu, et après les avoir dissoutes dans l'eau bouillante, on les décompose par une solution concentrée de potasse caustique. La base s'en sépare sur-le-champ sous forme de gouttelettes huileuses qui se rassemblent à la surface en une couche homogène qui, par le refroidissement, se prend en une masse cristalline radiée.

On la laisser égoutter sur un filtre, on la lave un peu et on la sèche entre des feuilles de papier. En soumettant la masse cristalline à la distillation, les cristaux commencent par fondre, et bientôt on voit passer un liquide incolore, très réfringent, qui se concrète en une masse cristalline : c'est la toluïdine pure.

Digitized by Google

Propriété de la toluïdine.

La toluïdine ($C^{14}H^9N$) est facilement soluble dans l'alcool, l'éther, l'esprit de bois, l'acétone, le sulfure de carbone, les huiles grasses et essentielles; l'alcool aqueux la laisse déposer, par le refroidissement, en grandes lames larges qui remplissent toute la liqueur; l'eau bouillante en dissout une petite quantité dont la majeure partie se sépare en lamelles très légères et irisées. L'éther enlève la toluïdine à sa dissolution aqueuse.

Cette base possède une odeur aromatique, vineuse, et une saveur brûlante tout-à-fait analogue à l'aniline.

Elle est sans action sur le papier de curcuma, mais elle ramène légèrement au bleu le papier de tournesol, rougit et verdit la matière colorante des dahlias.

Elle est plus pesante que l'eau; son point de fusion = 40°; son point d'ébullition = 198°. Elle se volatilise à toutes les températures; en effet, une baguette imprégnée d'acide hydrochlorique, approchée des cristaux de toluïdine, s'enveloppe de vapeurs blanches; pressée entre des feuilles de papier à une température voisine de son point de fusion, elle produit une tache graisseuse qui disparaît quelques instants après.

La toluïdine partage avec l'aniline la propriété de colorer, sous l'influence des acides, le bois de pin et la moelle de sureau en jaune intense; avec une solution de chlorure de chaux, elle ne produit qu'une légère coloration rougeâtre; l'acide nitrique la colore en rouge foncé, et l'acide chromique produit dans sa solution un précipité brun-rougeâtre qui semble être du chromate de toluïdine.

Quant à la manière dont la toluïdine se comporte avec les solutions des sels métalliques, on observe :

Qu'elle produit avec le sulfate et le chlorure de cuivre un précipité verdâtre, légèrement cristallin;

Qu'elle précipite avec l'aide de la chaleur de l'hydrate d'oxide ferrique, de la solution de chlorure ferrique;

Qu'elle produit avec le nitrate d'argent un précipité blanc cristallin (évidemment un sel double) qui noircit facilement;

Qu'elle forme avec les chlorures de platine et de palladium des précipités cristallins, de couleur orange.

Combinaisons de la toluïdine.

De même que celles de l'aniline, elles se distinguent par la faci-

Digitized by Google

lité avec laquelle elles cristallisent; les sels sont inodores et généralement incolores; mais à l'air, et surtout à l'état humide, ils se colorent facilement en rose.

Sulfate de toluïdine.

$(SO^3+C^{14}H^9N, HO)$.

On ajoute quelques gouttes d'acide sulfurique à la solution éthérée de toluïdine; il se forme immédiatement un précipité blanc, cristallin, peu soluble dans l'éther, facilement soluble dans l'alcool.

Bi-oxalate de toluïdine.

$2C^2O^3+C^{14}H^9N, HO+2$ aq.

S'obtient en traitant une solution alcoolique de la base par un excès d'acide oxalique. Aiguilles fines, soyeuses, peu solubles dans l'alcool et l'eau à froid, presque insolubles dans l'éther. La solution a une réaction acide et une saveur salée et brûlante.

Hydrochlorate de toluïdine.

$ClH, C^{14}H^9N$.

S'obtient en dissolvant la base dans l'acide et évaporant fortement la solution. Par le refroidissement, des cristaux lamelleux blancs se déposent, qui se colorent rapidement en jaune au contact de l'air. Ils sont très solubles dans l'eau et l'alcool, moins solubles dans l'éther; la solution a une réaction acide. Les cristaux, chauffés avec précaution dans un tube, se volatilisent comme le sel ammoniac.

Chlorure double de platine et de toluïdine.

$ClH, C^{14}H^9N+Cl^2Pt$.

Le nitrate et le phosphate de toluïdine sont cristallisables.

Produits de décomposition de la toluïdine.

Les vapeurs de la base en contact avec du potassium fondu produisent avec dégagement de lumière du cyanure de potassium.

L'acide nitrique concentré attaque vivement la toluïdine avec dégagement de vapeurs nitreuses. La solution concentrée, mélangée

Digitized by Google

avec de l'eau, laisse déposer des flocons jaunâtres qui ont quelque analogie avec l'acide nitrophénisique (nitropicrique).

En contact avec le brome, la toluïdine s'échauffe et dégage beaucoup de gaz hydrobromique; en chauffant le produit brut dans un tube, il se sublime des aiguilles blanches et brillantes d'une combinaison bromée; elles sont solubles dans l'alcool et l'éther, insolubles dans l'eau, sans propriétés alcalines, et correspondent probablement au tribromanilin.

Leur composition serait donc :

$$C^{14}\left\{\begin{matrix}H^6\\Br^3\end{matrix}\right\}N.$$

La chimie possède, dans les trois familles, de l'indigo, du salicyl, du phényl, trois groupes bien caractérisés de composés organiques qui ont ensemble les rapports les plus nombreux.

A ces groupes semblent correspondre une autre série de combinaisons parallèles, ne différant des premières que par C^2H^2. Cette série est encore très incomplète, et même la famille de l'indigo y manque complétement. Cependant la découverte de la toluïdine vient d'y combler une grande lacune.

SÉRIE DE L'INDIGO, DU SALICYL, DU PHÉNOL.		SÉRIE DE L'ANISYL, DU TOLUOL, ETC.	
Indigo	$C^{16}H^5NO^2$		
Isatine	$C^{16}H^5NO^4$		
Chlorisatine	$C^{16}\left\{\begin{matrix}H^4\\Cl\end{matrix}\right\}NO^4$		
Dichlorisatine	$C^{16}\left\{\begin{matrix}H^3\\Cl^2\end{matrix}\right\}NO^4$		
Ac. salicylique	$C^{14}H^6O^6$	Ac. anisique	$C^{16}H^8O^6$
Ac. bromosalicylique	$C^{14}\left\{\begin{matrix}H^5\\Br\end{matrix}\right\}O^6$	Ac. bromanisique	$C^{16}\left\{\begin{matrix}H^7\\Br\end{matrix}\right\}O^6$
Ac. dibromosalicylique	$C^{14}\left\{\begin{matrix}H^4\\Br^2\end{matrix}\right\}O^6$		
Ac. tribromosalicylique	$C^{14}\left\{\begin{matrix}H^3\\Br^3\end{matrix}\right\}O^6$	Ac. nitronisique	$C^{16}\left\{\begin{matrix}H^7\\NO^4\end{matrix}\right\}O^6$

Digitized by Google

SÉRIE DE L'INDIGO, DU SALICYL, DU PHÉNOL.		SÉRIE DE L'ANISYL, DU TOLUOL, ETC.	
Ac. nitrosalicylique (indigotiq.)	$C^{14}\left\{\begin{matrix}H^5\\NO^4\end{matrix}\right\}O^6$	Ac. bromonitranisique	$C^{16}\left\{\begin{matrix}H^6\\Br\\NO^4\end{matrix}\right\}O^6$
Phénol	$C^{12}H^6O^2$		
Bromophénol (ac. bromophénasique.)	$C^{12}\left\{\begin{matrix}H^5\\Br\end{matrix}\right\}O^2$	Bromanisol	$C^{14}\left\{\begin{matrix}H^7\\Br\end{matrix}\right\}O^2$ (?)
Dichlorophénol (ac. chlorophénésique.)	$C^{12}\left\{\begin{matrix}H^4\\Cl^2\end{matrix}\right\}O^2$	Dibromanisol	$C^{14}\left\{\begin{matrix}H^6\\Br^2\end{matrix}\right\}O^2$
Trichlorophénol (ac. chlorophénisique.)	$C^{12}\left\{\begin{matrix}H^3\\Cl^3\end{matrix}\right\}O^2$		
Pentachlorophénol (ac. chlorophénusique.)	$C^{12}\left\{\begin{matrix}H\\Cl^6\end{matrix}\right\}O^2$		
Dinitrophénol (ac. nitrophénésiq.)	$C^{12}\left\{\begin{matrix}H^4\\2NO^4\end{matrix}\right\}O^2$	Dinitranisol	$C^{14}\left\{\begin{matrix}H^6\\2NO^4\end{matrix}\right\}O^2$
Trinitrophénol (ac. nitropicrique.)	$C^{12}\left\{\begin{matrix}H^3\\3NO^4\end{matrix}\right\}O^2$		
Ac. anthraniliq.	$C^{14}H^7NO^4$		
Ac. salicylique	$C^{14}H^6O^4$		
Ac. benzoïque	$C^{14}H^6O^4$		
Ac. nitrobenzoïq.	$C^{14}\left\{\begin{matrix}H^5\\NO^4\end{matrix}\right\}O^4$		
Benzol	$C^{12}H^6$	Toluol	$C^{14}H^8$

Digitized by Google

SÉRIE DE L'INDIGO, DU SALICYL, DU PHÉNOL.		SÉRIE DE L'ANISYL, DU TOLUOL, ETC.	
Sulfobenzid	$C^{12}\{H^5, SO^2\}$	Sulfotoluid	(?)
Ac. hyposulfobenzidique	$C^{12}H^5S^2O^5$	Ac. hyposulfotoluïdique	$C^{14}H^7S^2O^5$
Chlorobenzol	$C^{12}\{H^3, Cl^3\}+3HCl$	Produits de l'action du chlore sur le toluol.	$C^{14}\{H^7, Cl\}$
Chlorobenzid	$C^{12}\{H^3, Cl^3\}$		$C^{14}\{H^5, Cl^3\}+HCl$
			$C^{14}\{H^3, Cl^3\}+2HCl$
Azobenzid	$C^{12}H^5N$		$C^{14}\{H^3, Cl^5\}+3HCl$
			$C^{14}\{H^2, Cl^6\}$
Nitrobenzide	$C^{12}\{H, NO^4\}$	Nitrotoluid	$C^{14}\{H^7, NO^4\}$
Binitrobenzid	$C^{12}\{H^4, 2NO^4\}$	Binitrotoluid	$C^{14}\{H^6, 2NO^4\}$
Aniline	$C^{12}H^7N$	Toluïdine	$C^{14}H^9N$
Bromaniline	$C^{12}\{H^6, Br\}N$		
Dibromaniline	$C^{12}\{H^5, Br^2\}N$		
Tribromaniline	$C^{12}\{H^4, Br^3\}N$	Tribromotoluidine	(?)
Nitraniline	$C^{12}\{H^6, NO^4\}N$		

La *nitraniline* n'est autre chose que de l'aniline $C^{12}H^7N$, dans laquelle H a été remplacé par :

$$NO^4=C^{12}\begin{pmatrix}H^6\\NO^4\end{pmatrix}N.$$

On l'obtient en traitant la binitrobenzide par le sulfure ammonique. Cette nouvelle combinaison, qui jusqu'ici n'a point d'ana-

Digitized by Google

logue en chimie, a conservé les caractères électro-positifs de l'aniline, et se comporte comme une base faible ; elle est solide, cristalline, et forme des sels cristallisables de la même constitution que les sels d'aniline.

MM. Hofmann et Muspratt ont également étudié la réaction qui donne naissance à l'*azobenzide* découverte par M. Mitscherlich. On l'obtient en distillant le nitrobenzide avec une solution alcoolique de potasse ; outre l'azobenzide, il se forme en même temps une quantité considérable d'aniline et d'acide oxalique.

Il semble donc évident que les éléments de l'alcool prennent part à cette réaction, qu'on peut représenter d'une manière approximative par l'équation suivante :

$$\underset{\text{Nitrobenzide.}}{2C^{12}H^5NO^4} + \underset{\text{Alcool.}}{C^4H^6O^2} = \begin{cases} C^{12}H^5N = \text{azobenzide.} \\ C^{12}H^7N = \text{aniline.} \\ 2(C^2O^3, HO) = \text{ac. oxalique.} \\ 2HO = \text{eau.} \end{cases}$$

Sur la furfurine, nouvelle base organique artificielle, par M. Fownes.

(Ann. der Chem. u. Pharm. v. Lieb. et Woeh., 1845, numéro 4.)

Dans la préparation de l'acide formique au moyen de substances féculacées et d'acide sulfurique étendu, il se forme en même temps une matière huileuse particulière, qui fut d'abord remarquée par M. Dœbereiner, et à laquelle M. Stenhouse (*Ann. d. ch. a. pharm.*, t. xxxv, p. 301) assigna la formule $C^5H^2O^2$ ($c = 75$, $H = 12{,}50$, $n = 176$).

M. Fownes propose de la nommer *furfurol ;* son analyse confirme l'exactitude de celle de M. Stenhouse.

Le furfurol déshydraté et récemment distillé est presque incolore, mais au bout de quelques minutes il prend une teinte brunâtre qui devient de plus en plus foncée. En contact avec l'eau, et par conséquent à l'état hydraté, il semble moins altérable et ne contracte qu'une teinte jaunâtre. Son odeur se rapproche de celle d'un mélange d'essences d'amandes amères et de cannelle, mais sans être aussi agréable. Sa densité a 15°,5 c = 1,168. Il entre en ébullition à 162° et distille sans altération.

Il se dissout en quantité assez notable dans l'eau ; on peut l'en séparer de nouveau par une distillation fractionnée.

Digitized by Google

Il est extrêmement soluble dans l'alcool; l'acide sulfurique concentré le dissout à froid avec une couleur pourpre; l'eau décompose cette solution en précipitant l'huile; à chaud, il y a altération, dégagement d'acide sulfureux et dépôt de charbon. L'acide hydrochlorique concentré exerce une action analogue à celle de l'acide sulfurique.

L'acide nitrique décompose totalement le furfurol avec dégagement de vapeurs nitreuses, et formation d'acide oxalique qui semble être le seul produit. Une solution de potasse caustique dissout lentement l'huile en se colorant en brun foncé; cette altération est surtout rapide avec l'aide de la chaleur; les acides en précipitent des flocons résineux. Le potassium ne réagit que lentement à froid; en chauffant, il y a réaction très violente avec dégagement de lumière et dépôt de charbon.

L'ammoniaque exerce sur le furfurol l'action la plus remarquable et la plus caractéristique. En mélangeant l'huile avec cinq ou six fois son volume d'ammoniaque liquide, elle se convertit au bout de quelques heures en une masse jaunâtre, légèrement cristalline, très volumineuse et tout-à-fait insoluble dans l'eau; cette substance semble être le seul produit de la réaction; on la jette sur un filtre, on la lave et on la fait sécher dans le vide au-dessus de l'acide sulfurique.

Sa composition se trouve représentée par la formule :

$C^{15}H^6NO^3$.

15C	= 67,13
6H	= 4,47
N	= 10,48
3O	= 17,92
	100,00

Sa formation s'explique facilement par l'équation suivante :

$C^{15}H^6O^6$	+	H^3N	=	$C^{15}H^6NO^3$	+	H^3O^3
Furfurol.		Ammoniaque.		Furfurolamide.		Eau.

Cette substance appartient par ses propriétés à la classe des amides.

Elle est d'un blanc légèrement jaunâtre, presque inodore, insoluble dans l'eau, facilement soluble dans l'alcool et l'éther.

Une solution alcoolique bouillante la laisse déposer, par le refroidissement, en groupes de petites aiguilles, qu'on obtient cependant mieux développées en ajoutant à une solution aqueuse de l'huile

Digitized by Google

(furfurol) de l'ammoniaque; le dépôt cristallin ne se fait alors qu'au bout de quelques jours. Par ses propriétés chimiques, cet amide se rapproche un peu de l'hydrobenzamide de M. Laurent.

L'eau bouillante et même l'alcool chaud décomposent lentement la furfurolamide en ammoniaque libre et en furfurol. La même décomposition se fait peu à peu à la température ordinaire sous l'influence de l'air humide. La furfurolamide chauffée, fond, s'enflamme et brûle avec une flamme fuligineuse. Les acides la décomposent instantanément, en mettant l'huile en liberté et en donnant naissance à un sel ammonique.

Les alcalis exercent sur cette substance une action des plus remarquables. En la faisant bouillir avec un grand excès d'une solution faible de potasse, elle se dissout, sans le moindre dégagement d'ammoniaque, et, par le refroidissement de la liqueur, il s'en dépose une nouvelle substance ayant absolument la même composition que l'amide, mais douée des propriétés d'une base organique très énergique. Elle cristallise en aiguilles blanches, brillantes, possède une réaction alcaline, et forme avec les acides une série de sels très bien définis et la plupart du temps parfaitement cristallisés.

Cette base, c'est la furfurine.

Sa formule, déterminée par l'analyse et par l'examen de sa capacité de saturation, est représentée par :

$$C^{30}H^{12}N^{2}O^{6}.$$

Il semble donc que, sous l'influence des alcalis, 2 équivalents de furfuramide se réunissent pour constituer 1 équivalent de la nouvelle base.

La furfurine cristallise en aiguilles fines, blanches, inaltérables à l'air et dans le vide sec, ayant beaucoup de ressemblance avec la caféine. Elle est inodore, et assez peu sapide, malgré l'amertume très prononcée de ses combinaisons salines. A une température bien inférieure au point d'ébullition de l'eau, elle fond en un liquide pesant, oléagineux, qui, par le refroidissement, acquiert d'abord la consistance d'une résine molle, mais finit par redevenir dure et cristalline.

Fortement chauffée au contact de l'air, elle s'enflamme et brûle avec une flamme rouge et fuligineuse, en laissant un léger résidu de charbon.

Elle se dissout dans environ 135 part. d'eau bouillante, qui, après le refroidissement, n'en contient plus que des traces.

L'alcool et l'éther dissolvent à froid la furfurine avec la plus

Digitized by Google

grande facilité ; par l'évaporation spontanée, on obtient de très beaux cristaux.

La réaction alcaline de cette base organique est surtout marquée dans sa solution aqueuse bouillante, ou dans sa solution alcoolique.

Les acides étendus la dissolvent avec une grande facilité et en sont complétement neutralisés. L'ammoniaque ou une base fixe sépare immédiatement et sans altération la furfurine de ses combinaisons salines.

Les sels de furfurine ne précipitent point les solutions de sels de fer, de cuivre, d'argent, de calcium et de baryum ; mais l'hydrochlorate de furfurine forme avec le sublimé corrosif un sel double insoluble blanc, et avec le chlorure platinique un sel jaune.

Cette base n'est précipitée dans aucune circonstance par l'infusion de noix de galle ; elle est assez puissante pour déplacer l'ammoniaque lorsqu'on la fait bouillir avec une solution de chlorure ammonique.

SELS DE FURFURINE.

Hydrochlorate de furfurine.

$C^{30}H^{12}N^2O^6 + HCl + 2HO$.

Ce sel obtenu directement cristallise en aiguilles fines, brillantes, réunies en groupes, comme l'hydrochlorate de morphine ; il a une réaction neutre, est très soluble dans l'eau pure, mais bien moins soluble dans l'acide chlorhydrique liquide.

Les cristaux conservent leur éclat en les faisant sécher dans le vide au-dessous de l'acide sulfurique.

Chlorure double de platine et de furfurine.

$C^{30}H^{12}N^2O^6 + HCl + PtCl^2$.

Précipité jaune clair, cristallin, qui noircit et se décompose en chauffant. Le sel sec calciné dans un tube fond en noircissant et en se boursouflant d'une manière extraordinaire ; il dégage en même temps d'abondantes vapeurs ammoniacales ; le résidu charbonneux ne se laisse incinérer qu'avec beaucoup de difficulté.

Digitized by Google

Nitrate de furfurine.

$C^{30}H^{12}N^2O^6+NO^5+HO.$

Ce sel forme de très beaux cristaux incolores, transparents et très brillants ; il est très soluble dans l'eau pure, mais peu soluble dans l'acide nitrique. Dans une atmosphère sèche, les cristaux s'effleurissent, deviennent opaques, et correspondent alors à la formule indiquée.

Oxalates de furfurine.

Le sel neutre est très soluble dans l'eau, et cristallise, lorsque la solution est assez concentrée, en aiguilles réunies en groupes comme l'hydrochlorate.

Le sel acide est très peu soluble à froid, mais cristallise avec la plus grande facilité par le refroidissement de la solution bouillante. Il se présente en lames minces, transparentes, qui conservent leur éclat dans le vide, et dont la solution a une réaction fortement acide. Il a pour formule :

$C^{30}H^{12}N^2O^6+2C^2O^3+2HO.$

L'acétate de furfurine est très soluble et incristallisable, ou du moins on ne parvient qu'avec la plus grande difficulté à le faire cristalliser.

Voici le meilleur procédé pour obtenir facilement cette base à l'état de pureté.

On porte à l'ébullition une solution étendue de potasse caustique, et on y introduit l'amide desséchée.

Après une ébullition de dix à quinze minutes, la transformation est opérée, et la nouvelle substance apparaît sous forme d'un liquide jaunâtre qui se rassemble au fond du vase et s'y solidifie.

En même temps, la partie de la basé dissoute dans la liqueur s'en sépare par cristallisation pendant le refroidissement complet du liquide. On jette le tout sur un filtre, on lave avec un peu d'eau froide, et on dissout dans un grand excès d'une solution étendue et bouillante d'acide oxalique. Par le refroidissement, on obtient de beaux cristaux de bi-oxalate encore coloré et impur. On les rassemble, on les lave un peu, on les exprime, et on les redissout dans de l'eau bouillante, à laquelle on ajoute un peu de charbon animal

Digitized by Google

purifié. La solution filtrée bouillante laisse déposer le bi-oxalate de furfurine en cristaux incolores. En les redissolvant dans beaucoup d'eau bouillante, en sursaturant par de l'ammoniaque, et en filtrant rapidement, l'alcaloïde se dépose en cristaux. On n'a qu'à les laver, exprimer et faire recristalliser pour avoir la furfurine parfaitement pure.

Sur la résine de l'olivier et sur l'olivile, par M. A. Sobrero.

(Ann. der Chem. u. Pharm. v. Lieb. et Woeh., 1845, numéro 4.)

L'olivier sauvage du sud de l'Italie et de l'île de Sardaigne sécrète un suc résineux qui se concrète en petites masses brunes, sèches au toucher, friables, que le frottement rend électriques; chauffées sur une plaque métallique, elles dégagent d'épaisses vapeurs, possédant une odeur très aromatique et agréable, qui est la cause de l'emploi de cette substance pour fumigation.

M. Pelletier s'occupa, en 1816, de l'examen de cette matière, et y découvrit une substance cristallisable, l'olivile, dont il fit l'analyse et étudia les principales propriétés. L'analogie de composition et de caractères de l'olivile avec la salicine engagea M. Sobrero d'en faire une étude plus approfondie, dans l'espoir d'en obtenir des dérivés aussi intéressants que ceux que fournit la salicine; mais l'expérience ne répondit point à son attente.

La résine de l'olivier semble être composée de quatre substances :

1° Une résine soluble dans l'éther et dans l'alcool bouillant; ce dernier dissolvant la laisse déposer presque complétement par le refroidissement;

2° Une résine peu soluble dans l'éther, mais facilement soluble à chaud et à froid dans l'alcool, soit anhydre, soit aqueux;

3° Un matière gommeuse, insoluble dans l'éther et l'alcool, peu soluble dans l'eau;

4° L'olivile.

Pour obtenir cette dernière substance, on réduit la résine en poudre fine, et on l'épuise par l'éther; le résidu se dissout presque complétement dans de l'alcool de 36° porté à l'ébullition; la liqueur filtrée se prend, par le refroidissement, en une masse cristalline. On jette sur un filtre, et on lave les cristaux avec une petite quantité d'alcool froid. Il suffit d'une seule recristallisation dans l'alcool pour avoir l'olivile dans un état de pureté parfaite.

Digitized by Google

L'olivile est blanche, inodore, d'une saveur à la fois douce et amère. Elle se dissout en petite quantité dans l'éther, un peu mieux dans l'esprit de bois et dans l'eau ; l'alcool bouillant semble la dissoudre en toute proportion ; lorsque la solution est concentrée et riche en matières résineuses, l'olivile se sépare, par le refroidissement, sous forme de grains amylacés ; dans des conditions opposées, et surtout par un refroidissement lent, elle cristallise en prismes incolores et allongés, qui se groupent en étoiles autour d'un centre.

L'olivile impure ne se dépose de sa solution aqueuse qu'en masse granuleuse, dépourvue de toute structure cristalline ; l'olivile pure, au contraire, cristallise très bien, surtout d'une solution saturée à 70° qui se refroidit lentement ; elle se dépose alors en prismes, groupés en étoiles, ayant souvent quelques millimètres de longueur. Ces cristaux contiennent de l'eau, qu'ils perdent partiellement dans le vide.

Lorsqu'on chauffe de l'eau contenant plus d'olivile en suspension qu'elle n'en peut dissoudre, l'excès d'olivile fond à 70°, et se rassemble au fond du vase, sous forme d'une huile pesante, qui se prend, par le refroidissement, en une masse cristalline opaque. Ce phénomène ne s'observe pas lorsque l'olivile contient encore de la matière résineuse. L'ébullition avec l'eau ne fait éprouver aucune altération à l'olivile pure.

L'olivile est sans réaction sur les couleurs végétales, et ne décompose point les carbonates alcalins ; la potasse et la soude caustique, l'ammoniaque liquide, la dissolvent facilement à froid ; l'acide acétique la précipite de ces solutions, lorsqu'elles sont concentrées, sans qu'elle paraisse avoir subi d'altération notable. Cependant, au contact de l'air, ces solutions alcalines se colorent de plus en plus, et les acides en précipitent ensuite une matière résineuse brune, douée de propriétés électro-négatives. Les acides faibles, à l'exception de l'acide nitrique, ne semblent non plus altérer l'olivile. L'acide nitrique colore en jaune rougeâtre même des solutions très étendues de cette matière ; cette réaction est caractéristique. L'olivile sèche, traitée par l'acide nitrique étendu de son volume d'eau, se décompose complétement avec dégagement de vapeurs nitreuses et d'acide hydrocyanique ; le résidu renferme de l'acide oxalique qui forme à l'état anhydre 26 p. c. de la matière employée.

L'olivile s'oxide avec une telle facilité qu'elle réduit sur-le-champ à froid les solutions de chlorure d'or et de nitrate d'argent, et à chaud celle de sulfate de cuivre.

Le chlore l'attaque rapidement ; en faisant passer un courant de

Digitized by Google

chlore à travers une solution aqueuse d'olivile, il se forme un précipité brun floconneux, peu soluble dans l'eau, soluble dans l'alcool et renfermant du chlore, qui s'est évidemment substitué à de l'hydrogène.

L'eau renferme de l'acide hydrochlorique libre.

L'olivile peut se combiner à l'oxide plombique; une solution aqueuse de cette matière est précipitée en flocons blancs par le sous-acétate de plomb.

L'olivile cristallisée fond vers 118-120°. En laissant refroidir et en examinant de nouveau le point de fusion, on le trouve maintenant à 70°; la masse amorphe redissoute dans l'alcool cristallise, et les cristaux secs fondent de nouveau à 120°; l'olivile a donc deux points de fusion, selon qu'elle est à l'état amorphe ou à l'état cristallisé, et elle se rapproche sous ce rapport des acides lithofellique, sylvique, du sucre, etc.

L'olivile anhydre obtenue, soit par cristallisation dans l'alcool absolu, soit en maintenant l'olivile hydratée en fusion, jusqu'à ce qu'elle ne perde plus en poids, a une composition qui se trouve exprimée par la formule :

$$C^{14}H^{9}O^{5}$$

ou

$$C^{28}H^{18}O^{10} \quad [C=75.\ \ H=12{,}50.]$$

L'olivile cristallisée dans l'eau et exposée pendant longtemps au vide retient un atome d'eau, et a pour formule :

$$C^{28}H^{18}O^{10}+HO.$$

L'olivile cristallisée dans l'eau et desséchée entre des feuilles de papier a pour formule :

$$C^{28}H^{18}O^{10}+2HO.$$

En précipitant une solution neutre de nitrate de plomb, contenant en même temps un grand excès d'olivile par de l'ammoniaque, M. Sobrero obtint des précipités contenant des quantités d'oxide plombique assez variables : cependant il réussit également à préparer un sel qui, desséché à 130°, était anhydre, et dont la composition était représentée par :

$$C^{28}H^{18}O^{10}+2PbO.$$

En précipitant une solution aqueuse d'olivile par le sous-acétate

Digitized by Google

de plomb, on obtient des précipités plus basiques qui se rapprochent de :

$$C^{28}H^{18}O^{10}+3PbO.$$

Action des acides sufurique et hydrochlorique concentrés sur l'olivile. — Olivirutin.

En traitant une solution d'olivile par l'acide sulfurique concentré à froid, en exposant ce corps à chaud à un courant de gaz chlorhydrique ou en le faisant digérer au bain-marie avec de l'acide chlorhydrique liquide fumant, on transforme l'olivile en un corps rouge, insoluble dans l'eau, soluble dans l'alcool et dans l'ammoniaque (avec une teinte violette). La solution alcoolique précipite le sous-acétate de plomb et l'acétate de cuivre, et, après addition d'ammoniaque, les solutions de sels de chaux et de baryte. Ce corps nouveau est l'olivirutin. Sa composition n'est point constante.

Elle dérive de celle de l'olivile, moins une certaine quantité d'oxigène et d'hydrogène dans les rapports pour constituer l'eau; ce qui augmente relativement la proportion de carbone. Suivant que l'action des acides a été plus ou moins énergique, il y a eu une quantité d'eau plus ou moins grande d'éliminée.

Une solution d'olivile bouillie avec du suroxide plombique donne naissance à une combinaison plombique, dont le corps électro-négatif est de nature résineuse.

De même, l'acide chromique transforme l'olivile en un acide qui se combine avec l'oxide chromique formé :

$$C^{28}H^{18}O^{10}+2CrO^3=C^{28}H^{18}O^{13}+Cr^2O^3.$$

Ce sel se dépose en flocons bruns, qui bientôt deviennent verdâtres et grenus. On n'a qu'à les laver avec de l'eau bouillante et ensuite avec de l'alcool pour avoir le sel pur. L'analyse a confirmé la composition de ce sel.

Action de la chaleur sur l'olivile. — Acide pyrolivilique.

En chauffant de l'olivile pure et sèche dans une cornue jusqu'à ce que le résidu noir commence à se boursoufler, on obtient, dans le récipient, de l'eau et un corps huileux particulier qui est l'acide pyrolivilique.

A l'état de pureté, cet acide est huileux, presque incolore, d'une odeur et d'une saveur agréables, rappelant celles de l'essence de

Digitized by Google

caryophyllées. Il est peu soluble dans l'eau; la solution est acide et précipite le sous-acétate de plomb.

Il est très soluble dans l'alcool et l'éther.

L'acide, soit libre, soit en combinaison avec les alcalis, absorbe facilement l'oxigène de l'air, se colore de plus en plus, et finit par s'altérer complétement.

L'acide nitrique le transforme en une matière résineuse; il se forme en même temps de l'acide nitrophénisique.

L'acide pyrolivilique réduit sur-le-champ une solution de nitrate d'argent.

On ne peut déshydrater cet acide au moyen du chlorure calcique qui s'y dissout, et dont on ne peut le séparer sans altération. Il bout à une température très élevée, probablement supérieure à 200°; en fractionnant la distillation, les premières portions sont hydratées et les secondes sont anhydres.

L'acide pyrolivilique, d'après ses caractères et sa composition, pourrait bien être identique avec l'acide caryophyllique.

Sa formule à l'état libre et anhydre est :

$$C^{20}H^{13}O^5 = C^{20}H^{12}O^4 + HO.$$

En précipitant une solution alcoolique de cet acide par une solution alcoolique de sous-acétate de plomb, on obtient un précipité floconneux blanc, insoluble dans l'eau, soluble dans l'alcool, fusible à 100°. Sa formule est :

$$C^{20}H^{12}O^4 + 2PbO.$$

En comparant la composition de l'olivile avec celle de l'acide pyrolivilique, on voit que ce dernier dérive du premier par soustraction de carbone et d'eau :

Acide pyrolivilique,	$C^{20}H^{13}O^5$	$= C^{28}H^{18}O^{10}$ olivile.
+ 8 carbone,	C^8	
+ 5 eau,	H^5O^5	

Sur l'amarine, par Fownes.

(Ann. der Chem. u. Pharm. v. Lieb. et Woeh., 1845, numéro 6.)

M. Fownes, en appliquant à l'hydrobenzamide le procédé par lequel il avait transformé la furfurolamide en furfurine, obtint une

Digitized by Google

base organique artificielle qu'il crut nouvelle, mais qui n'est autre que l'amarine déjà décrite par M. Laurent.

Son travail peut donc servir de complément aux données publiées par M. Laurent.

L'essence d'amandes amères en contact avec l'ammoniaque se solidifie peu à peu et se transforme en hydrobenzamide, qui résulte de la combinaison de 2 équivalents d'ammoniaque avec 3 équivalents d'essence et élimination de 6 équivalents d'eau.

$$C^{42}H^{18}O^6 + H^6N^2 = C^{42}H^{18}N^2 + H^6O^6.$$

Les acides décomposent immédiatement l'hydrobenzamide en mettant l'essence d'amandes amères en liberté, et en donnant naissance à un sel ammonique. Il en est tout autrement de l'action des alcalis ; une solution de potasse caustique maintenue pendant quelques heures en ébullition avec l'hydrobenzamide provoque la transformation de cette substance en amarine, qui apparaît en flocons bruns cristallins ou sous forme d'une huile pesante qui, après le refroidissement, présente une masse plus dure et moins fusible que l'hydrobenzamide.

Les sels d'amarine, à l'exception de l'acétate, sont peu solubles dans l'eau. En précipitant une solution de sulfate ou de chlorure d'amarine par l'ammoniaque, l'amarine se précipite sous forme de caillots, dont le volume diminue notablement par le lavage à l'eau froide.

A l'état sec, cette poudre est très idio-électrique ; elle ne se dissout pas sensiblement dans l'eau, mais facilement dans l'éther. Une solution alcoolique saturée dépose, par le refroidissement, l'amarine en cristaux brillants, transparents et incolores, qui semblent être des prismes à quatre pans ; la solution possède une forte réaction alcaline.

L'amarine fond à 100°, et forme par le refroidissement une matière solide, vitreuse, transparente, non cristalline. Soumise à la distillation sèche, elle se volatilise presque complétement en laissant un très léger résidu charbonneux. Pendant la distillation, il se dégage de l'ammoniaque ; le récipient contient une matière huileuse, très volatile, ayant l'odeur de la benzine, et dans le col de la cornue il se condense une matière solide, cristalline, qui semble être le produit le plus abondant, et qui a reçu le nom de *pyro-amarine*.

Chauffée avec un mélange d'acide sulfurique et de bichromate

Digitized by Google

de potasse, l'amarine fournit une grande quantité d'acide benzoïque qui se dégage avec les vapeurs d'eau. L'acide nitrique produit la même transformation, mais d'une manière moins nette. La formule de l'amarine est :

$$C^{42}H^{18}N^2,$$

la même que celle de l'hydrobenzamide.

Hydrochlorate d'amarine.

$$C^{42}H^{18}N^2+HCl.$$

Ce sel est très peu soluble, même dans l'eau chaude ; il cristallise en petites aiguilles très brillantes, qui s'effleurissent dans le vide en perdant un équivalent d'eau = 2,4 p. c.

Nitrate d'amarine.

$$C^{42}H^{18}N^2+NO^5+HO.$$

Aussi peu soluble que le précédent ; les cristaux sont petits, mais sans éclat ; ils ne perdent rien dans le vide.

L'*acétate d'amarine* est très soluble et se dessèche en une masse gommeuse.

Pyro-amarine.

Pour l'obtenir pure, on exprime le produit solide de la distillation sèche de l'amarine, et on le dissout dans l'alcool bouillant ; elle s'en dépose en cristaux.

La pyramarine est peu soluble dans l'alcool froid, et insoluble dans l'eau et dans les acides et alcalis étendus. Elle est sans saveur et sans réaction sur les couleurs végétales.

Chauffée à sec, elle fond, se sublime en cristaux pennés, entre en ébullition, et distille sans altération.

La pyramarine fondue se prend, par le refroidissement, en une masse solide, cristalline. Sa composition ne semble pas encore bien déterminée : M. Fownes lui assigne la formule :

$$C^{21}H^5N.$$

Digitized by Google

Note sur un composé résultant de l'action de la potasse sur l'essence d'amandes amères brute, par Grégory.

(Ann. der Chem. u. Pharm. v. Lieb. et Woehl., 1845, numéro 6.)

Pour préparer de la benzoïne, M. Grégory mélangea de l'essence d'amandes amères (probablement riche en acide hydrocyanique) avec une solution concentrée de potasse.

Ce mélange, qui devint bientôt demi-solide, resta longtemps abandonné à lui-même. En exprimant la matière solide, la dissolvant dans l'alcool bouillant et laissant refroidir, il obtint, au lieu de benzoïne, une matière volumineuse, légère, cristalline, d'un blanc jaunâtre. Elle était insoluble dans l'eau, et assez peu soluble dans l'alcool, surtout à froid.

Les cristaux fondaient à une assez haute température sans altération; en les chauffant avec précaution à une température supérieure, ils se décomposaient en répandant d'abord l'odeur d'hydrure de benzoyle, puis, surtout en présence d'une base alcaline, celle de la benzine. Traités par l'acide chlorhydrique à chaud, ils se transformaient en sel ammoniac et hydrure de benzoyle; l'acide sulfurique concentré les colorait en vert-émeraude.

Les propriétés tendent à démontrer que ce corps est identique avec le composé obtenu par Zinin en traitant l'essence d'amandes amères par une solution alcoolique de potasse avec addition d'acide hydrocyanique. Ce corps a pour composition :

$$C^{46}H^{18}N^2O^4.$$

On peut le considérer comme 3 équiv. d'hydrure de benzoyle dans lesquels 2 équiv. d'oxigène sont remplacés par 2 équiv. de cyanogène.

$$3(C^{14}H^6O^2)=C^{42}H^{18}O^6.$$

$$C^{42}H^{18}O^6-O^2+Cy^2=C^{42}H^{18}\left\{\begin{matrix}O^4\\Cy^2\end{matrix}\right\}=C^{46}H^{18}N^2O^4.$$

Cyanates d'éthyle et de méthyle, par MM. Liebig et Woehler.

En saturant de l'alcool ou de l'éther par la vapeur d'acide cyanique dans la préparation de l'éther cyanurique, ce dernier se dépose à l'état cristallin, mais il reste en dissolution un autre composé

Digitized by Google

dont la formule se représente par 1 éq. d'acide cyanique hydraté + 1 éq. d'alcool, ou par du cyanate éthylique + 2 aq. d'eau :

$$CyO, AeO + 2\,aq. = CyO, HO + AeO, HO.$$

Ce nouveau composé cristallise en grandes lames ou tables transparentes, très solubles dans l'eau, l'alcool et l'éther, facilement fusibles et très volatils.

L'esprit de bois fournit un composé analogue.

$$CyO, MeO + 2\,aq.$$

Sur l'acide hippurique et les hippurates, par Schwarz.

(Ann. der Chem. u. Pharm. v. Lieb. et Woeh., 1845, numéro 4.)

Le meilleur moyen de préparer l'acide hippurique pur consiste à évaporer doucement l'urine de cheval à 1/6-1/8 de son volume, à y ajouter de l'acide hydrochlorique et à laisser cristalliser l'acide hippurique impur.

On fait bouillir cet acide avec un lait de chaux, dont l'excès de base fixe une grande partie de la matière colorante ; l'hippurate calcique filtré est précipité par un petit excès de carbonate de soude ; on fait bouillir et on filtre de nouveau ; on précipite de nouveau par du chlorure calcique en excès, et, enfin, on isole dans le dernier liquide l'acide hippurique par un excès d'acide hydrochlorique. Dans ces différentes précipitations de carbonate de chaux, la matière colorante se combine si intimement avec ce composé qu'il est très facile de purifier l'acide hippurique par ce procédé.

Lorsque cet acide est mélangé d'acide benzoïque, on les sépare le plus facilement au moyen de l'éther, qui dissout de préférence l'acide benzoïque.

L'urine des bœufs et des vaches ne fournit que très peu d'acide hippurique ; au contraire, l'urine de chameau et d'éléphant en contient des quantités considérables.

Les sels de l'acide hippurique ont beaucoup de ressemblance avec ceux de l'acide fumarique. Cette circonstance et les expériences de M. Fehling viennent à l'appui de l'opinion qui considère l'acide hippurique comme de l'acide fumarique copulé avec de la benzamide.

$$\underset{\text{Ac. hippurique hydraté.}}{C^{18}H^{18}N^2O^6} = \underset{\text{Benzamide.}}{C^{14}H^{14}N^2O^2} = \underset{\text{Ac. fumarique.}}{C^4H^2O^3, H^2O}$$

[C=75. H=6,25. N=87,50.]

Digitized by Google

Hippurate neutre potassique.

$C^{18}H^{16}N^2O^5$, KO+2 aq.=Hi, KO+2 aq.

Ce sel, obtenu en neutralisant exactement à chaud de l'acide hippurique pur par une solution de carbonate de potasse, est extrêmement soluble dans l'eau, mais assez peu soluble dans l'alcool et l'éther absolus et froids, au moyen desquels on peut l'obtenir cristallisé en l'y dissolvant à chaud. Sa solution aqueuse évaporée avec précaution présente des croûtes cristallines un peu jaunâtres renfermant de petits prismes rhombiques obliques.

Le sel hydraté, desséché à 100°, perd son eau de cristallisation et devient :

Hi+KO=$C^{18}H^{16}N^2O^5$, KO.

Calciné, il se décompose en répandant une odeur assez agréable rappelant celle du *satureja hortensis*.

Hippurate acide de potasse.

2Hi, (KO+H^2O)+2 aq.

Ce sel cristallise facilement en belles lames larges et brillantes, peu solubles dans l'alcool et l'éther. La forme cristalline est un prisme carré avec face terminale droite et arête terminale tronquée.

Hippurate sodique.

2[Hi, NaO]+ aq.

Ce sel se prépare comme le sel potassique, et se purifie par cristallisation dans l'alcool. Il ne perd rien en poids, ni dans le vide au-dessus de l'acide sulfurique, ni par la dessiccation à 100°.

Hippurate acide d'ammoniaque.

2Hi, (AmO+H^2O)+2 aq.

Ce sel s'obtient toujours, même en employant un excès d'ammoniaque qui se perd par l'évaporation ; il est très soluble dans l'eau et l'alcool, peu soluble dans l'éther ; en le chauffant à 180-200, il perd la majeure partie de son ammoniaque, et il reste de l'acide hippurique coloré en beau rose. Les cristaux du sel ammonique sont des prismes quadratiques à quatre pans avec terminaison en

Digitized by Google

pyramide à quatre faces. Le sel projeté sur l'eau y acquiert un mouvement oscillatoire analogue à celui du butyrate barytique.

Hippurate barytique.

Hi, BaO+ aq.

Ce sel cristallise en croûtes qui, sous le microscope, laissent reconnaître des prismes à quatre pans. Desséché à 100°, il perd son eau de cristallisation, et devient :

Hi, BaO.

Hippurate strontique.

Hi, SrO+5 aq.

Ce sel est assez peu soluble dans l'eau froide, dans l'alcool et l'éther, mais bien soluble dans l'eau et l'alcool bouillants : aussi le sel cristallise-t-il facilement en larges lames qui sont des prismes à quatre pans avec terminaison droite.

A 100°, ce sel perd son eau de cristallisation, et devient :

Hi, SrO.

Hippurate calcique.

Hi, CaO+3 aq.

Ce sel ressemble au sel barytique ; les cristaux sont des prismes rhombiques obliques, qui perdent leur eau à 100°, et deviennent anhydres :

Hi, CaO.

Hippurate magnésique.

[Hi, MgO]+H^2O+4 aq.

Ce sel, préparé avec le carbonate de magnésie et l'acide hippurique, cristallise d'une solution concentrée en cristaux groupés en verrues. A 100°, ils perdent 4 atomes d'eau, mais retiennent le dernier atome ; le sel restant est :

Hi, MgO+H^2O.

Le sel de magnésie et celui de soude sont les seuls hippurates qui retiennent 1 at. d'eau à 100°.

Digitized by Google

Hippurate ferrique.

En mélangeant du chlorure ferrique, aussi neutre que possible, avec une solution d'hippurate potassique, il se forme un précipité, couleur isabelle, volumineux, insoluble dans l'eau; il a la propriété de se réunir dans l'eau chaude en une masse brune, poisseuse, comme résineuse. Ce précipité est soluble dans l'alcool bouillant; par le refroidissement, une partie du sel se dépose, soit à l'état amorphe, soit en groupes de prismes rhombiques obliques.

Hippurate cobaltique.

Sel hydraté	(Hi, CoO+5 aq.)
Sel anhydre	(Hi, CoO) desséché à 100°

On dissout le carbonate de cobalt dans l'acide hippurique, et on précipite la solution rose et assez concentrée par l'alcol, qui retient en même temps l'excès d'acide hippurique en solution. Le sel cristallise en petits prismes larges à quatre pans groupés autour d'un centre.

Le sel, desséché à 100°, change la couleur rose en violet.

Hippurate nicolique.

Sel hydraté	Hi, NiO+5 aq.
Sel anhydre	Hi, NiO.

Préparé comme le sel de cobalt, il se présente en croûtes cristallines de couleur verte; il est assez insoluble dans l'eau froide, plus soluble dans l'eau chaude et dans l'alcool, insoluble dans l'éther.

Hippurate de cuivre.

Sel hydraté	Hi, CuO+3 aq.
Sel desséché à 100°	Hi, CuO.

On obtient facilement ce beau sel par double décomposition du sulfate de cuivre avec l'hippurate de potasse; il est assez soluble dans l'eau, et cristallise en prismes rhombiques obliques; il se dissout assez bien dans l'alcool.

Hippurate de plomb.

Hi, PbO+2 aq. aiguilles.
Hi, PbO+3 aq. lames.

Digitized by Google

On obtient le sel de plomb facilement en ajoutant de l'acétate neutre de plomb à de l'hippurate potassique.

Il se précipite en flocons blancs, qui ne se dissolvent qu'en petite quantité dans l'eau bouillante ; par le refroidissement, il cristallise en petites aiguilles fines, brillantes, réunies en groupes. Les cristaux se transforment souvent, surtout dans des solutions concentrées, en se combinant encore avec 1 at. d'eau, en lames brillantes assez larges, qu'on reconnaît facilement pour être des tables quadrilatères. Les deux sels perdent leur eau à 100°, et se transforment en :

Hi, PbO.

Hippurate argentique.

Sel cristallin	Hi, AgO+aq.
Sel anhydre	Hi, AgO.

Ce sel s'obtient facilement en précipitant du nitrate argentique par une solution d'hippurate potassique ; il se forme un précipité caséeux qui, redissous dans beaucoup d'eau bouillante, s'en dépose en belles aiguilles soyeuses. Elles contiennent 1 at. d'eau de cristallisation, qu'elles perdent par la dessiccation à 100°.

Sur quelques sels de l'acide urique, par Bensch.

(Ann. der Chem. u. Pharm. v. Lieb. et Woehler, 1845, numéro 5.)

Les opinions des chimistes sur la constitution de l'acide urique sont partagées ; M. Berzélius admet la formule $C^5N^4H^4O^3$, tandis que MM. Woehler et Liebig la doublent.

L'analyse de l'urate ammonique fit penser que la formule de l'acide urique était différente de celle qu'on avait admise jusqu'ici. En effet, la réaction acide de ce sel autorise à le considérer comme un sel acide, et lui assigne la formule :

$$\left.\begin{matrix}N^2H^8O\\H^2O\end{matrix}\right\}+2(C^5N^4H^2O^2).$$

M. Bensch, ayant réussi à produire un sel de potasse cristallisé, ayant la formule :

$$C^5N^4H^2O^2+KO,$$

Digitized by Google

la formule de l'acide urique hydraté devra être :

$C^5N^4HO^3$.

Pour extraire l'acide urique pur des excréments de serpents, ou de pigeons, ou de poules, la méthode suivante est la plus favorable.

On traite ces matières par une solution de potasse caustique (1KO sur $20H^2O$), et on fait bouillir jusqu'à ce que toute odeur ammoniacale ait disparu ; par la solution filtrée, on fait passer un courant d'acide carbonique jusqu'à ce que toute la potasse soit saturée ; il se précipite alors de l'urate acide de potasse, sous forme de précipité grenu et lourd. On le lave à l'eau froide jusqu'à ce que celle-ci trouble l'eau-mère d'où s'est déposé l'urate acide.

Le sel ainsi obtenu, dissous dans de la potasse étendue et versée dans une solution chaude d'acide chlorhydrique étendu, fournit de l'acide urique très pur. Il n'en reste presque pas dans la solution saturée par l'acide carbonique.

1 partie d'acide urique pur exige 1,800 à 1,900 parties d'eau bouillante, et 14,000 à 15,000 parties d'eau froide pour sa dissolution.

Leur solution froide d'acide urique est encore précipitée par les sels de plomb et d'argent.

Urate neutre potassique.

$C^5N^4H^2O^2$, KO.

Pour l'obtenir, on sature une solution de potasse caustique (1KO sur $15H^2O$) d'acide urique ; la solution claire, portée à l'ébullition dans un matras, est mélangée avec 2 volumes d'alcool de 80 p. c. bouillant ; le liquide reste clair ; mais, en y ajoutant une solution concentrée de potasse caustique, on voit se précipiter des aiguilles groupées en faisceaux.

On les lave d'abord à l'alcool, puis à l'éther, en évitant soigneusement tout contact de l'air, et surtout de l'acide carbonique, qui décompose le sel.

Le sel desséché est blanc, cristallin, fortement alcalin, soluble dans 30 à 40 parties d'eau à 100°, peu soluble dans l'alcool, insoluble dans l'éther, ne dégage point d'acide carbonique par l'addition d'acide chlorhydrique, passe, sous l'influence de l'eau et de l'acide carbonique, à l'état de sel acide, brunit à 150°, et se décompose complétement à une température supérieure.

Digitized by Google

Urate acide de potasse.

$$2(C^5N^4H^2O^2) + \left\{\begin{matrix} KO \\ H^2O. \end{matrix}\right.$$

La préparation de ce sel a déjà été indiquée plus haut. Dissous dans l'eau bouillante, il se sépare, par le refroidissement, à l'état de précipité floconneux qui, rassemblé sur un filtre, se dessèche en une masse dure, amorphe.

Ce sel exige 70 à 80 p. d'eau bouillante et 780 à 800 p. d'eau à 20° pour sa dissolution.

Il est insoluble dans l'alcool et l'éther, et n'absorbe point l'acide carbonique ; sa solution aqueuse est neutre, sans saveur, et est précipitée par le sel ammoniac, les sels de baryte, de plomb et d'argent, et par les bicarbonates alcalins ; le sulfate de magnésie ne la précipite pas.

Urate neutre sodique.

$C^5N^4H^2O^2$, NaO à 140°.

Ce sel se prépare comme le sel potassique correspondant : seulement, au lieu d'ajouter 2 volumes d'alcool bouillant, on n'en ajoute qu'un seul. Le sel se dépose en champignons.

C'est une poudre blanche assez dure, soluble dans 80 à 90 part. d'eau bouillante, très peu soluble dans l'alcool, insoluble dans l'éther ; la solution aqueuse est alcaline, absorbe l'acide carbonique, et se trouble en déposant de l'urate acide de soude.

L'urate neutre se décompose vers 150°, et fond à une température supérieure en noircissant.

Le sel, desséché à 100°, contient encore 1 at. d'eau, et a pour formule :

$$C^5N^4H^2O^2, NaO + aq ;$$

cette eau (3,15 p. c.) se dégage vers 140°.

Urate acide de soude.

$$2(C^5N^4H^2O^2) + \left\{\begin{matrix} NaO \\ H^2O \end{matrix}\right. \text{ à } 170°.$$

$$2(C^5N^4H^2O^2) + \left\{\begin{matrix} NaO \\ H^2O \end{matrix}\right. + \text{aq. à } 100°.$$

On l'obtient facilement en faisant passer de l'acide carbonique dans la solution du sel neutre, ou en versant du bicarbonate sodique dans une solution bouillante d'acide urique dans de la soude caus-

Digitized by Google

tique ; dans le premier cas, il cristallise en champignons ; dans le second, en petites aiguilles très fines.

Le sel se dissout dans 123 à 125 p. d'eau bouillante, et 1100 à 1200 p. d'eau à 15°.

La solution aqueuse est neutre et est précipitée par les bicarbonates alcalins et les sels de baryte, plomb et argent ; ce sel est insoluble dans l'alcool et l'éther, et n'absorbe point l'acide carbonique.

Urate acide d'ammoniaque.

$$2(C^5N^4H^4O^2) + \left\{\begin{matrix} H^8N^2O \\ H^2O \end{matrix}\right.$$

[C=75. H=6,25. N=87,50.]

Quelles que soient les circonstances dans lesquelles l'acide urique et l'ammoniaque sont mis en présence, il y a toujours formation d'un sel acide ayant une composition représentée par la formule indiquée.

En versant un excès d'ammoniaque liquide sur de l'acide urique, celui-ci gonfle surtout sous l'influence de la chaleur ; la combinaison, bien lavée et desséchée sur de la chaux, présente une masse blanche, dure, amorphe, soluble dans une très grande masse d'eau et dont la solution a une réaction acide.

En mettant l'acide urique en suspension dans de l'eau bouillante et en ajoutant peu à peu de l'ammoniaque, le même sel se dépose en très petits cristaux aciculaires, qui, rassemblés sur un filtre, se dessèchent au-dessus de la chaux en une poudre blanche très légère.

En ajoutant du sel ammoniac à une solution bouillante d'urate acide de potasse, on obtient l'urate acide ammonique sous forme d'un précipité blanc qui, lavé et bouilli ensuite avec de l'eau, gonfle fortement.

Ce sel, en solution étendue dans l'eau, peut être décomposé par une ébullition très prolongée ; l'ammoniaque se dégage à l'état libre, et l'acide urique se sépare en petits cristaux qui sont des prismes transparents à quatre pans, terminés par une surface droite (perpendiculaire au prisme), soit par une pyramide à quatre faces. Cette décomposition n'a pas lieu pour une solution aqueuse concentrée de ce sel.

L'urate acide ammonique exige 1608 p. d'eau à 15° pour sa dissolution ; il s'ensuit qu'une solution saturée à chaud d'acide urique, mélangée d'ammoniaque, ne doit point se troubler par le refroidissement.

Digitized by Google

Urate acide de magnésie.

$$2(C^5N^4H^4O^2)+MgO+2H^2O \text{ à } 170°.$$

$$2(C^5N^4H^4O^2)+MgO+7H^2O \text{ à } 100°.$$

Une solution saturée chaude d'urate acide de potasse, mélangée de sulfate de magnésie, ne dépose qu'au bout de deux à trois heures de petits cristaux soyeux, groupés en champignons, et qui nagent souvent à la surface de la liqueur. Ces cristaux (qui sont probablement un sel double), redissous dans l'eau bouillante, dont ils exigent une quantité bien plus considérable que n'était celle dans laquelle ils se sont formés, fournissent, par le refroidissement, de petites aiguilles, insolubles dans l'alcool et l'éther, solubles dans 150 à 170 p. d'eau bouillante, et 3500 à 4000 p. d'eau froide, et dont la solution a une réaction neutre. Ce sel, desséché à 100°, présente une poudre légère, qui commence à se décomposer vers 180°.

Urate acide de chaux.

$$2(C^5N^4H^4O^2)+CaO+3H^2O \text{ à } 100°.$$

Ce sel se précipite, sous forme de poudre blanche amorphe, en ajoutant du chlorure de calcium à une solution chaude d'urate acide de potasse; lorsque ce dernier sel est alcalin, on obtient souvent des cristaux aciculaires, réunis en champignons (probablement un sel double).

L'urate acide calcique, par lui-même très peu soluble dans l'eau, y devient bien plus soluble à la faveur du chlorure potassique.

Urate acide de baryte.

$$2(C^5N^4H^4O^2)+BaO+3H^2O \text{ à } 100°.$$

Urate acide de strontiane.

$$2(C^5N^4H^4O^2)+SrO+3H^2O \text{ à } 100°.$$

Ces deux sels se préparent comme le sel de chaux; celui de baryte est insoluble et celui de strontiane très peu soluble dans l'eau.

Acide urique et oxide plombique.

De l'acétate de plomb, ajouté à une solution bouillante d'urate

Digitized by Google

acide potassique, donne naissance à un précipité blanc, lourd, qui, lavé et desséché, forme une poudre blanche insoluble dans l'eau, l'alcool et l'éther, qui brûle facilement en laissant pour résidu un mélange de plomb métallique et d'oxide plombique.

Le sel, desséché à 100°, ne perd plus rien à 160°; sa formule est :

$$2(C^5N^4H^4O^2)+PbO+2H^2O.$$

qui peut aussi être considéré comme un mélange de :

$$[C^5N^4H^4O^2, H^2O]+[C^5N^4H^4O^2,PbO+H^2O,]$$

c'est-à-dire d'acide urique avec de l'urate neutre plombique.

En précipitant l'urate neutre potassique par l'acétate de plomb, on obtient un sel neutre, mais qui renferme en même temps de l'acide acétique.

Acide urique et oxide cuivrique.

En ajoutant du sulfate de cuivre à de l'urate acide de potasse, on obtient un précipité vert qu'on ne peut rendre exempt de potasse par un lavage prolongé à l'eau froide; en le faisant bouillir avec l'eau, sa couleur devient brune, et l'eau de lavage laisse déposer de l'acide urique par le refroidissement; le précipité brun, lavé et desséché au-dessus de l'acide sulfurique, devient violet et ne possède aucune structure cristalline.

Sa formule est :

$$2(C^5N^4H^4O^2)+3CuO+5H^2O.$$

En le chauffant à 140°, il perd 5,57 p. c. d'eau et se change en :

$$2\,C^5N^4H^4O^2)+3CuO+2H^2O.$$

Acide urique et oxide argentique.

L'urate argentique, préparé en précipitant l'urate acide de potasse par un excès de nitrate d'argent à froid, est un précipité blanc gélatineux qui fonce bientôt en couleur; une élévation de température détermine sur-le-champ la décomposition; au contraire, en précipitant le nitrate d'argent par un excès d'urate potassique, le précipité reste blanc même en le desséchant; mais, malgré des lavages prolongés à l'eau froide, il contient toujours plusieurs centièmes de potasse.

Digitized by Google

Examen de quelques tartrates et paratartrates, par M. Werther.

(Journ. f. prakt. Chemie, t. XXXII, p. 385.)

Tartrate de cuivre.

Ce sel s'obtient soit en précipitant du sulfate de cuivre par du tartrate potassique, soit en dissolvant de l'hydrate d'oxide de cuivre ou de carbonate dans l'acide tartrique.

C'est une poudre d'un vert clair, soluble dans 310 parties d'eau froide, et 17,15 parties d'eau bouillante. Sa composition est :

$$T, CuO+3\,aq. \quad [T=C^4H^4O^5.]$$

En versant sur ce sel une solution de soude caustique, il se dissout, et on peut précipiter par l'alcool un sel soluble de cette solution, mais la composition n'en est pas constante.

En concentrant la liqueur, elle se décompose en déposant de l'oxide cuivreux.

On obtient un sel double constant en projetant ce tartrate de cuivre dans une solution bouillante de carbonate de soude.

Il se dégage de l'acide carbonique, et il se forme une liqueur bleue, neutre, qui, évaporée avec précaution au bain-marie, fournit des cristaux mamelonnés. Ils deviennent un peu plus volumineux en évaporant dans le vide de la machine pneumatique.

Ces cristaux ont une belle couleur bleue, sont assez solubles dans l'eau chaude, moins dans l'eau froide; la solution est neutre et n'est point précipitée par les alcalis; mais à la longue elle dépose de l'oxide cuivreux et une matière charbonneuse.

L'alcool précipite ce sel double de sa solution aqueuse sous forme de poudre amorphe d'un bleu clair.

Sa composition est :

$$T, NaO+T, CuO+2CuO+7\,aq.$$

Racémate (paratartrate) cuivricosodique.

On délaie le racémate de cuivre avec un peu d'eau, on y ajoute autant de soude qu'il en faut pour en opérer la solution, et on verse avec précaution sur la liqueur une couche d'alcool absolu; bientôt on voit sur la limite des deux liquides se déposer des cristaux aciculaires, et le fond du vase se couvre de cristaux lamelleux. Les deux sels, différents de forme et de couleur, ont la même composition :

$$R, NaO+CuO, H^2O+3\,aq.$$

Digitized by Google

L'existence de ces sels permet d'expliquer le fait que la présence de l'acide tartrique empêche la précipitation de certains oxides au moyen des alcalis.

Tartrate plombique.

[T, PbO+2 aq.]

S'obtient par double décomposition à l'état de poudre blanche, douce au toucher et adhérente.

Racémate double de potasse et d'acide arsénieux.

R, KO+R, As^2O^3+3 aq.

On ajoute à la solution bouillante de racémate potassique, par petites portions et alternativement, des équivalents égaux d'acide arsénieux et d'acide racémique. La solution se fait difficilement et exige une ébullition prolongée.

S'il se déposait trop de racémate acide de potasse, il faudrait ajouter un excès d'eau et continuer l'ébullition jusqu'à une certaine concentration des liqueurs.

Par le refroidissement, on obtient de gros prismes rhombiques qui recouvrent une couche épaisse d'un sel cristallin (biracémate de potasse). En cassant cette couche, on y trouve également des prismes, mais plus petits.

Le mieux est de séparer mécaniquement les deux sels.

Les cristaux de racémate arséniosopotassique sont grands, bien déterminés, à éclat nacré, qui se perd peu à peu à mesure que les cristaux s'effleurissent.

A 100°, ils perdent 4,226 p. c. (à peu près la moitié) de leur eau de cristallisation, et la totalité entre 155 — 170°.

On peut alors les chauffer sans altération jusqu'à 250 à 255°; ils deviennent bruns, et dégagent de l'eau et des vapeurs empyreumatiques ayant une odeur d'ail.

Le sel anhydre se dissout complétement dans une petite quantité d'eau chaude; à 16°, il exige 7,96 p. d'eau froide; en concentrant la liqueur, le sel double se décompose en majeure partie en biracémate de potasse, qui se dépose en petits cristaux et en acide arsénieux, qui reste en solution même dans une liqueur assez concentrée.

Digitized by Google

Racémate double de soude et d'acide arsénieux.

$$R, NaO + R, As^2O^3 + 5\ aq.$$

Ce sel double se prépare plus facilement que le précédent, d'après le même procédé. Presque toute la quantité des matières employées entre dans la composition du sel double.

Par le refroidissement, on obtient de beaux cristaux d'un éclat nacré et inaltérables à l'air.

A 100°, ils perdent 10,646 p. c., environ 4 at. d'eau de cristallisation ; le reste se dégage à 130°. Le sel se décompose à 275. Il se dissout dans 14,59 parties d'eau à 19° c.

Par l'évaporation, on obtient presque tout le sel en cristaux parfaitement purs et transparents.

Racémate double d'ammoniaque et d'acide arsénieux.

$$R, N^2H^8O + R, As^2O^3 + aq.$$

Il se forme assez difficilement par le procédé déjà décrit ; on ne peut empêcher la formation d'une grande quantité de biracémate ammonique qui ne se dissout pas même après une ébullition prolongée ; on en décante la liqueur, et après une évaporation ménagée elle dépose le sel double en gros cristaux qui sont exempts de tout mélange d'autre sel.

Les cristaux exposés à l'air s'effleurissent ; ils se dissolvent dans 10,62 parties d'eau à 15°. Redissous dans l'eau, ils se décomposent presque complétement par l'évaporation en biracémate ammonique et acide arsénieux.

Le sel sec, exposé à 100°, perd, outre de l'eau, en même temps aussi de l'ammoniaque.

Tartrate double d'ammoniaque et d'acide arsénieux.

$$[T, N^2H^8O + T, As^2O^3 + aq.]$$

S'obtient comme le racémate correspondant ; il jouit des mêmes propriétés, mais est un peu plus soluble dans l'eau.

Digitized by Google

Sur le sulfocarbonate-sulféthylique, par M. Schweitzer.

(Journ. f. prakt. Chemie, t. XXXII, p. 254.)

Ce composé ne s'obtient pas en faisant réagir directement le sulfure de carbone sur le sulfure d'éthyle, mais il se forme par double décomposition en condensant de l'éther hydrochlorique (chlorure d'éthyle) dans une solution alcoolique de sulfocarbonate potassique. On abandonne le mélange pendant plusieurs jours, et on renouvelle la même opération jusqu'à ce que la majeure partie du sulfocarbonate de potasse se soit transformée en chlorure :

$$CS^2, KS + Cl^2, C^4H^{10} = C^4H^{10}S, CS^2 + Cl^2K.$$

[C=75. H=6,25. Cl=222.]

En étendant la liqueur d'eau, il se précipite une huile pesante qui est un mélange de la nouvelle combinaison avec du sulfure de carbone. Pour la purifier, on lave avec une solution froide de sulfure potassique qui dissout le sulfure de carbone, et on la soumet à la distillation avec de l'eau.

Le sulfocarbonate éthylique pur est un liquide plus dense que l'eau, qui n'en dissout que très peu, mais très soluble dans l'alcool et dans l'éther. Il a une couleur jaunâtre, une odeur douceâtre et alliacée, une saveur agréable, douce, qui rappelle celle de l'anis. Il commence à bouillir à 100° ; mais le point d'ébullition s'élève constamment, probablement en vertu d'une décomposition partielle. Sa formule est :

$$C^5H^{10}S^3 = C^4H^{10}S + CS^2.$$

Chauffé avec une solution alcoolique de sulfure potassique, il est promptement décomposé ; il se forme du sulfure d'éthyle et du sulfocarbonate potassique.

Sur le piauzit, par M. Heidinger.

(Ann. v. Pogg., LXII, p. 275.)

On a donné le nom de piauzit à une résine fossile qu'on trouve à Piauze, près Neustadt. Elle est compacte, à cassure légèrement conchoïde, d'une couleur brun-noir, faiblement translucide sur les

Digitized by Google

bords ; elle donne une raie d'un brun jaunâtre et possède un aspect gras.

Le piauzit se laisse facilement couper au couteau ; mais il a en même temps si peu de consistance, qu'on peut le broyer facilement entre les doigts ; sa dureté = 1,5, sa densité = 1,220.

Il fond à 315°, s'enflamme et brûle avec une flamme brillante et fuligineuse qui répand une odeur légèrement aromatique.

Il se dissout complétement dans l'éther et dans une solution de potasse caustique ; l'alcool absolu le dissout aussi presque en entier, ce qui n'a lieu que partiellement avec l'alcool aqueux. L'acide nitrique concentré l'attaque et fait varier la couleur du brun foncé au jaune clair.

Le piauzit contient ordinairement 3 un quart p. c. d'eau hygroscopique ; desséché et calciné, il laisse 5,96 p. c. de cendres ; soumis à la distillation sèche, il fournit un liquide jaunâtre, oléagineux, d'une réaction acide.

Analyse du seigle et du son de froment, par M. Furstenberg.

(Journ. f. prakt. Chem., XXXI, p. 195.)

Cette analyse diffère de celles qui ont déjà été publiées, en ce que M. Furstenberg ne put y retrouver le sucre en évitant d'employer une température supérieure ; ce résultat fut confirmé par des recherches faites dans le laboratoire de M. Mitscherlich. La dextrine trouvée était identique avec celle obtenue de la fécule par l'action des acides ou de la diastase ; en effet, elle produisait une déviation à droite de la lumière polarisée, et l'acide nitrique la transformait en acide oxalique. Elle se comporte d'une manière différente que le sucre avec le sulfate de cuivre sous l'influence de la potasse caustique ; elle ne réduit point l'oxide cuivrique, mais s'y combine et forme une combinaison d'un beau bleu, qui n'est point altéré par la chaleur, comme l'avait déjà observé M. Trommer.

	Son de froment.	Seigle.
Fécule	22,62	65,32
Alumine,	1,64	3,34
Dextrine,	5,28	3,78
Gluten,	10,84	3,96
A reporter	40,38	76,40

Digitized by Google

	Son de froment.		Seigle.	
Report	40,38		76,44	
Matière grasse,	2,82		1,92	
Eau,	10,30		14,98	
Matière fibreuse,	43,98		6,18	
Chlorure potassique,	0,23	46,5 formés	0,01	
Sulfate potassique,	0,24	par les		6,7 formés par
Phosphate magnésique,	0,93	écailles	0,39	les enveloppes.
Carbonate calcique,	0,37	(épispermes).		
Silice,	0,75		0,12	
Traces de fer et d'alumine,	»		»	
	100,00		100,00	

Analyse de la glutine (gélatine végétale), par M. Mulder.

(Scheikund. Onderzoek., II, Deel S., 154.)

La glutine avait déjà été analysée par M. Jones (*Ann. der ch. a. pharm.*, t. XL, p. 65) qui avait trouvé, en négligeant le soufre et le phosphore :

Carbone,	55,22
Hydrogène,	7,42
Azote,	15,98
Oxigène,	21,38
	100,00

M. Mulder en reprit l'analyse pour déterminer également ces principes.

La glutine fut préparée en traitant par l'alcool le gluten obtenu de la farine de froment, en lavant la pâte sous un filet d'eau. Par le refroidissement, la solution alcoolique claire et filtrée laissa déposer des flocons qui, redissous une seconde fois, fournirent un dépôt qui fut recueilli, desséché et lavé par l'éther.

L'analyse donna les résultats suivants :

Digitized by Google

	1.	2.	Atomes.	Calcul.
Carbone,	54,93	54,75	400	54,89
Hydrogène,	7,11	6,99	620	6,94
Azote,	15,71	15,71	100	15,90
Oxigène,	21,68	21,93	120	21,55
Soufre,	0,57	0,62	2	0,72
	100,00	100,00		100,00

En comparant cette composition :

$$10(C^{40}H^{62}N^{10}O^{12})+2S,$$

avec celle de la fibrine, de l'albumine, du sérum et du blanc d'œuf, de la caséine, on reconnaît que la glutine est une combinaison de protéine avec du soufre, contenant la même quantité de soufre que l'albumine du sérum, mais point de phosphore, ce qui différencie ces deux corps. On a donc :

1. Cristallin	= 15	protéine	+S
2. Caséine	= 10	»	+S
3. Glutine	= 10	»	+2S
4. Fibrine	= 10	»	+S+P
5. Albumine des œufs	= 10	»	+S+P
6. Albumine du sérum	= 10	»	+2S+P

La glutine se rapproche donc de la caséine, mais n'est point identique et ne peut être confondue avec elle.

Sur une altération de la morphine par l'acide sulfurique, par M. Arppe.

(Ann. der Chem. u. Pharm, v. Liebig et Woehler, 1844, numéro 7.)

En ajoutant une petite quantité d'acide sulfurique étendu à du sulfate de morphine cristallisé, évaporant et chauffant à 150—160°, on obtient une masse brune qui, en ajoutant de l'eau, laisse déposer un corps blanc. On porte la liqueur à l'ébullition pour dissoudre le précipité, et on filtre; le corps blanc s'en sépare par le refroidissement; on traite de nouveau de la même manière la partie de la masse brune qui n'avait pas été dissoute, mais en y ajoutant quelques gouttes d'acide sulfurique.

Digitized by Google

Lorsqu'on a employé la quantité voulue d'acide sulfurique et qu'on n'a pas dépassé la température indiquée en évaporant, le précipité est parfaitement blanc, ainsi que la liqueur surnageante, et le filtre ne contient qu'une quantité minime de matière colorante. La substance blanche, recueillie sur un filtre, se laisse facilement débarrasser de l'excès d'acide sulfurique par le lavage à l'eau froide, on l'exprime ensuite et on la fait sécher à une douce chaleur. L'eau-mère contient encore un peu de cette substance, mais elle s'altère en voulant concentrer la solution.

Les propriétés de ce corps sont les suivantes : il est blanc, se délaie dans l'eau en formant de gros flocons caséiformes qui se contractent fortement par la dessiccation, et présente sous le microscope une masse de sphères rondes, brillantes, homogènes et sans aucune apparence cristalline.

Exposée à l'air, la surface devient peu à peu verdâtre ; ce corps est peu soluble dans l'eau ; par l'ébullition, la solution se décompose et prend une couleur verte. Il est insoluble dans l'alcool et l'éther. Dans les liqueurs acides, surtout dans celles qui contiennent de l'acide sulfurique ou de l'acide chlorhydrique, il se dissout avec la plus grande facilité, mais sans qu'il soit possible d'obtenir des combinaisons salines ; la substance se sépare sans altération par la concentration des solutions étendues, et les acides concentrés la décomposent en laissant un corps brun pour résidu.

Les liqueurs alcalines, surtout lorsqu'elles sont caustiques et concentrées, agissent de la même manière que les acides concentrés.

Dans les solutions acides, l'addition de la potasse et de l'ammoniaque détermine des précipités abondants, solubles dans un excès d'alcali. Le carbonate d'ammoniaque précipite également, mais le précipité est insoluble dans un excès de carbonate. Ces précipités s'altèrent très rapidement à l'air, en se colorant en vert foncé.

La matière contient plus d'acide sulfurique que le sulfate de morphine, et dans deux états, dont l'un est sensible au chlorure barytique, tandis que l'autre n'est appréciable qu'en détruisant la matière organique par le chlore.

Il est impossible de retrouver la morphine dans ce composé.

L'analyse fournit les résultats suivants :

	Trouvé.		Atomes.	Calcul.
Acide sulfurique,	14,66	14,14	5(SO^3)	14,63
Carbone,	61,12	61, 2	140 C	61,41
Hydrogène,	5,88	5,58	160 H	5,84
Azote,	3,90		8 N	4,11
Oxigène,			24 O	14,01

Digitized by Google

M. Arppe la représente par 4 de morphine + 5 d'acide sulfurique.

$$4(C^{35}H^{40}N^2O^6)+5SO^3,$$

et pense que la formule rationnelle pourrait être :

$$(C^{35}H^{17}O^6, N^2H^6+SO^3)+3(C^{35}H^{17}O^6+N^2H^6)+4SO^3.$$

Quant à la substance verte produit de métamorphose de la substance blanche, elle contient 5,93 p. c. d'acide sulfurique, par conséquent seulement les deux cinquièmes de la quantité contenue dans la substance primitive.

Sur la matière colorante de la cochenille, par M. Arppe.

(Ann. der Chem. u. Pharm. v. Liebig. et Woehler, 1845, numéro 7.)

M. Preisser a présenté dans une thèse un travail sur diverses matières colorantes organiques qui, si ses résultats pouvaient être confirmés, serait d'un grand intérêt théorique.

M. Arppe, en répétant ses expériences sur la matière colorante de la cochenille, est arrivé à des résultats tout-à-fait différents, et malheureusement la méthode même employée par M. Preisser empêche d'avoir entière confiance dans les résultants annoncés.

Ce chimiste prépare le carmin d'une manière très simple.

Il extrait la cochenille d'abord par l'éther, puis par l'eau.

Sa solution aqueuse est traitée par ce qu'il appelle hydrate d'oxide plombique qui fixe le carmin. La combinaison plombique est décomposée par l'hydrogène sulfuré, et la liqueur incolore qui en résulte est évaporée; il s'en dépose des cristaux incolores appelés carméine, qui, à l'air, deviennent d'abord jaunes, puis rouges, et constituent le carmin.

Or, l'hydrate d'oxide plombique de M. Preisser, préparé en précipitant du nitrate de plomb par l'ammoniaque, n'est autre chose, comme le sait tout chimiste expérimentateur, que le nitrate basique de plomb :

$$2[Pb^3, \dddot{N}]+3\,aq.$$

Toutes les laques plombiques, décomposées par l'hydrogène sulfuré, devaient donc fournir une liqueur contenant de l'acide

Digitized by Google

nitrique qui, par la concentration, ne pouvait manquer de réagir sur des substances très avides d'oxigène.

En opérant d'après le procédé indiqué, M. Arppe obtint les résultats suivants : la matière colorante fut précipitée par le nitrate basique de plomb ; mais, en décomposant ce précipité bien lavé par l'hydrogène sulfuré, il se forme du sulfure de plomb et une liqueur acide, colorée en rouge.

En évaporant, il y a bientôt dégagement des vapeurs rutilantes ; la liqueur refroidie ne laisse rien déposer.

En concentrant davantage, l'action oxidante de l'acide nitrique devient plus active, et il se sépare de la liqueur jaune un produit de décomposition également jaune. Plus tard, apparaissent de petits cristaux rhombiques qui ne sont autre chose que de l'acide oxalique.

On sait, par les expériences de MM. Pelletier et Caventou, que la solution aqueuse de cochenille contient une matière animale précipitable par le nitrate d'argent.

Cette purification ayant été opérée, M. Arppe précipita la matière colorante par de l'acétate de plomb et décomposa le précipité lavé par l'hydrogène sulfuré. La liqueur rouge était acide, comme l'avait déjà indiqué Berzélius dans son *Traité de chimie*, et l'acide ne provenait point de l'acétate de plomb employé. La liqueur, évaporée à siccité, donna une masse d'un rouge foncé, ayant l'odeur de sucre brûlé.

L'hydrate d'oxide plombique pur se comporte d'une manière particulière avec la matière colorante de la cochenille ; à froid, il ne précipite point la matière colorante, mais à chaud il se forme une laque bleue. En la décomposant par l'hydrogène sulfuré, la liqueur n'est que faiblement colorée, et presque toute la matière colorante s'est fixée sur le sulfure plombique. Elle y tient si fortement qu'on ne peut l'enlever par l'eau, l'alcool, l'ammoniaque et la potasse ; le sulfure ammonique et les acides y décèlent sa présence.

En évaporant la solution de la matière colorante dans le sulfure ammonique, la réaction bleue de l'ammoniaque apparait peu à peu, accompagnée d'une formation d'acide sulfurique.

Pour fixer l'acide qui accompagne le carmin, on fit digérer une solution de cochenille purifiée par le nitrate d'argent avec de l'ammoniaque et de l'hydrate d'oxide de plomb ; la liqueur ammoniacale incolore devint fortement acide par l'évaporation ; mais en décomposant la laque par l'hydrogène sulfuré, la liqueur faiblement colorée était également acide, et la matière colorante resta fixée sur le sulfure plombique.

Digitized by Google

Il résulte de ces expériences que la matière colorante de la cochenille n'a pas encore été obtenue à l'état de pureté.

Sur la constitution de la bebeerine, par MM. Maclagan et Tilley.

(Ann. der Chem. u. Pharm. v. Lieb. et Woehler, 1845, numéro 7.)

Le nom de bebeerine fut donné à une base organique retirée de l'écorce d'un arbre de la Guyane anglaise connu sous le nom de bebeeru.

On l'en retire par les procédés employés pour la préparation de la quinine et du sulfate de quinine. Pour séparer le tannin et préparer la base pure, on emploie avec avantage le procédé suivant : on précipite le sulfate de bebeerine impur par l'ammoniaque ; la base lavée et encore humide est mélangée avec son volume d'hydrate d'oxide de plomb ; le magma, desséché au bain-marie, est ensuite traité par l'alcool anhydre, qui en extrait la bebeerine. Par l'évaporation, on obtient une substance demi-transparente, orange, résineuse, qui n'est pas encore entièrement pure, mais contient un autre corps qui a reçu le nom de sipéerine. On en extrait la bebeerine pure au moyen de l'éther.

Par l'évaporation, on l'obtient sous forme de masse amorphe, transparente, homogène et d'une couleur jaunâtre peu intense, possédant tous les caractères d'une base organique.

La bebeerine ne cristallise pas, aussi peu que des sels.

Elle est insoluble dans l'eau, et se dissout facilement dans l'alcool, un peu moins dans l'éther.

La chaleur la fait fondre et la décompose ensuite.

Par le chromate de potasse et l'acide sulfurique, elle se transforme en une résine noire ; par l'acide nitrique en une résine jaune.

Distillée avec de la potasse, elle ne produit point de chinoline avec les chlorures d'or, de mercure, de cuivre, de fer et de platine ; l'hydrochlorate de bebeerine forme des combinaisons solubles dans l'eau et l'alcool bouillants, mais qui, par le refroidissement, se déposent sous forme amorphe.

La composition de la bebeerine est la même que celle de la morphine.

$$C^{35}H^{40}N^{2}O^{6}.$$

L'hydrochlorate de bebeerine et de platine =

$$C^{35}H^{40}N^{2}O^{6}, H^{2}Cl^{2}+Cl^{4}Pt.$$

Digitized by Google

Elle possède des propriétés analogues à celles de la quinine, quant à son action sur l'économie animale.

Sur la chlorophylle, par M. Mulder.

(Scheikund. Anderzoek, II, Deel., p. 482.)

En opérant sur une très grande quantité de feuilles, M. Mulder parvint à en extraire assez de chlorophylle exempte de cire et de graisse pour pouvoir en faire l'analyse.

La méthode de préparation fut celle indiquée par M. Berzélius pour obtenir la chlorophylle pure. Des feuilles de peuplier furent mises pendant quelques jours avec de l'éther; la solution éthérée fut filtrée et distillée; le résidu fut repris par l'alcool bouillant.

Par le refroidissement, il se déposa une quantité considérable de cire qu'on sépara par le filtre; la liqueur alcoolique, évaporée à siccité et reprise de nouveau par l'alcool bouillant, donna un nouveau dépôt de cire; la liqueur, filtrée et évaporée à siccité, fut ensuite traitée par l'acide hydrochlorique concentré à la température ordinaire. La solution, d'un beau vert, après avoir été filtrée sur de l'amiante, fut mise en contact avec quelques morceaux de marbre; la chlorophylle, devenue insoluble, se précipita, fut recueillie sur un filtre, lavée d'abord avec un peu d'acide chlorhydrique faible, et ensuite avec de l'eau, jusqu'à ce que les eaux de lavage ne fussent plus troublées par l'addition de nitrate d'argent.

M. Mulder calcula, d'après son analyse, la formule :

$$C^{18}H^{18}NO^{3}.$$

Il observa que la chlorophylle, préparée avec des feuilles de poirier et de sureau, possède les mêmes caractères que celle du peuplier.

Ce travail montre que la chlorophylle n'appartient point à la classe des graisses, des cires et des résines, mais qu'elle se rapproche des corps de la classe de l'indigo, ayant elle-même la propriété d'être décolorée par l'hydrogène à l'état naissant.

Digitized by Google

TABLE

DES MATIÈRES CONTENUES DANS LE XXIe VOLUME

DE LA

REVUE SCIENTIFIQUE ET INDUSTRIELLE.

Numéro d'avril 1845.

Des couleurs en elles-mêmes et dans les corps. — Constitution du soleil, nature de sa lumière. 5
Coup d'œil sur les résultats de quelques travaux touchant les régularités qui se manifestent dans les poids spécifiques et les points d'ébullition des combinaisons chimiques, par Hermann Kopp. 89
Arséniates de cuivre naturels, par Damour et Descloizeaux. 110
Essai de classification des feldspaths et des minéraux analogues, par Deville. 121
Nouvelles séries de tungstates alcalins, par Marguerite. 124
Sur le tungstène, par Saint-Evre. 126
Sur les principaux minerais de titane, par H. Rose. 127
Sur l'aluminium, par Wochler. 129
Sur la composition des hydrates cristallisés de baryte et de strontiane, par Filhol. 130
Sur un carbonate double de potasse et de soude, par Marguerite. 120
Sur l'acide bismuthique, par Heintz. 131
Sur les combinaisons azotées, par A. Laurent. 133
Interprétation des produits de décomposition de la narcotine, par Gerhardt. 137
Transformation de l'essence de moutarde en essence d'ail, par Gerhardt. 137
Note sur la fabrication de l'outremer artificiel en Allemagne, par M. C.-P Pruckner, chimiste-manufacturier de Hof (Bavière). 139
Publications nouvelles. 144
Bibliographie. 144

Digitized by Google

Numéro de mai.

Recherches sur l'influence que certaines espèces de cokes exercent sur la fonte dans la fabrication du fer, par M. Gaultier de Claubry. 145
Note sur la fabrication de l'argentan à Sheffield, par Jahkel. 159
Sur les équivalents de plusieurs corps simples, par J. Pelouze. 165
Sur un sulfo-arséniure de plomb cristallisé du Saint-Gothard, par Damour. 166
Sur la détermination de la densité des gaz, par V. Regnault. 166
Sur les sels haloïdes doubles, par Poggiale. 167
Sur le sesquichlorure de chrome, par Péligot. 169
Sur les nitrates de protoxide de mercure, par Lefort. 170
Action du chlorure aurique sur l'hyposulfite de soude, par Fordos et Gélis. 171
Recherches sur deux variétés de barytocalcite, par MM. Descloiseaux et Delesse. 173
Analyse de minéraux de Russie, par Hermann. 174
Composition de l'eau de la mer du Nord, par Backs. 176
Analyse de granit et d'augit, par E. Wolff. 177
De l'action du zinc sur le biphosphate sodique et sur l'acide phosphorique, par Trommer. 179
Sur les combinaisons du phosphore avec l'hydrogène, par M. Paul Thénard. 179
Sur la préparation de l'acide phosphorique pur, par M. Grégory. 188
Notices minéralogiques, par M. Marignac. 190
Analyse de la herschelite ou de l'hydrolite, par M. Damour. 197
Recherches sur le porphyre rouge de Halle, par M. E. Wolff. 198
Sur la composition chimique des pouzzolanes et des bombes volcaniques, par Elsner. 212
Composition d'un miroir métallique de Chine, par Elsner. 214
Composition des sables employés pour la fabrication des moules dans les fonderies, par Kampmann. 215
Analyse de plusieurs bronzes de machines, par Schmidt. 215
Sur les anilides, nouvelle classe de composés organiques, par Gerhardt. 216
Sur l'amarine et quelques autres produits dérivés de l'essence d'amandes amères, par M. Laurent. 221
Dorure galvanique des mouvements d'horlogerie telle qu'elle se pratique dans la fabrique neuchâteloise, par A.-Olivier Mathey, essayeur-juré au bureau de garantie de Locle. 230
Procédé économique pour préparer l'oxide de carbone, par E. Filhol. 242
Analyse d'un mémoire de MM. Flandin et Danger sur l'empoisonnement par le mercure. 243
Sur l'essence de térébenthine propre à dissoudre plus facilement le caout-

Digitized by Google

chouc, par M. Bouchardat. 256
Engrais minéraux. 257
Mémoire sur la télégraphie électrique (partie historique). 261

Numéro de juin.

Mémoire sur la télégraphie électrique (Deuxième article). 309
Histoire des applications diverses du principe de la télégraphie électrique. 323
Système de sonnettes mises en mouvement par le courant électrique. 324
Impression des dépêches télégraphiques. 325
Horloge électro-télégraphique. 325
Appareil propre à rendre plus facile la comparaison de deux pendules. 237
Thermomètre-télégraphe. 338
Chronoscope. — Moyen de mesurer des intervalles extrêmement courts, comme la durée du choc des corps élastiques, celle du débandement des ressorts, de l'inflammation de la poudre, la vitesse des projectiles, etc. 340
Réponse de M. Bréguet. 359
Remarques sur le mémoire de M. Pouillet, par M. Jacobi. 361
Vitesse de propagation de l'électricité. 363
Sur la durée d'un éclair de première ou de seconde classe, par M. Arago. 363
Expériences destinées à mesurer la vitesse de l'électricité et la durée de la lumière électrique, par M. Wheatstone. 370
Histoire de la découverte des lois relatives à la propagation du fluide électrique. 388
Sur les composés dérivés de l'action du chlore sur le sulfure de carbone, par Kobbe. 394
Recherches sur l'ozone, par Williamson. 409
Sur la décomposition de quelques acides et de plusieurs sels par le chlore, par M. Williamson. 411
Sur le sous-oxide d'antimoine et d'hydrogène antimonié, par M. Marchand. 413
Composition du spath-chlorite (chloritoïde), par M. Gerathewohl. 414
Observations sur la composition du fer titané et de la tantalite, par M. Scheerer. 416
Nouveaux métaux terreux contenus dans les zircons, par Svanberg. 417
Sur le poids atomique du soufre et de l'or, par M. Berzélius. 417
Action des alcalis sur le quinon, par M. Woskressensky. 418
Sur la composition de l'oxalate et du nitrate d'urée, par M. Marchand. 419
Sur l'acide sulfosulfamylique, par M. Gerathewohl. 420
Sur la toluïdine, nouvelle base organique, par MM. Muspratt et Hoffmann. 422
Sur la furfurine, nouvelle base organique artificielle, par M. Fownes. 430

Digitized by Google

Sur la résine de l'olivier et sur l'olivile, par M. A. Sobrero. 435
Sur l'amarine, par Fownes. 439
Note sur un composé résultant de l'action de la potasse sur l'essence d'amandes amères brutes, par Grégory. 442
Cyanates d'éthyle et de méthyle, par MM. Liebig et Woehler. 443
Sur l'acide hippurique et les hippurates, par Schwarz. 443
Sur quelques sels de l'acide urique, par Bensch. 447
Examen de quelques tartrates et paratartrates, par Werther. 453
Sur le sulfocarbonate sulféthylique, par Schweitzer. 456
Analyse du seigle et du son de froment, par Furstenberg. 457
Analyse de la glutine (gélatine végétale), par Mulder. 458
Sur une altération de la morphine par l'acide sulfurique, par Arppe. 459
Sur la matière colorante de la cochenille, par Arppe. 461
Sur la constitution de la bebeerine, par Maclagan et Tilley. 463
Sur la chlorophylle, par Muller. 464
Table générale des matières. 465
Sur le plauzit, par M. Heidinger. 466

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Q
2
R
5-2
Ser. II
Vol. 5

Revue
Scientifique

91003

MAY 14 1957

Digitized by Google

UNIVERSITY OF CHICAGO
096 372 607

Digitized by Google